



**Universidade de
Aveiro**

Departamento de Engenharia Mecânica

2008

**João Diogo
Matias Dinis**

**Análise do nível óptimo de isolamento térmico de
edifícios residenciais em Portugal**



**Universidade de
Aveiro**

Departamento de Engenharia Mecânica

2008

**João Diogo
Matias Dinis**

Análise do nível óptimo de isolamento térmico de edifícios residenciais em Portugal

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em engenharia mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

O júri

Presidente

Professor Doutor Francisco José Malheiro Queirós de Melo

Professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa

Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Orientador

Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, à minha família e amigos.

Palavras-chave

Espessura óptima de isolamento; Poupança de energia; Várias formas de energia; Análise económica de ciclo de vida; Método graus - dias; Zonas climáticas.

Resumo

O isolamento térmico é uma das medidas mais eficientes para a conservação da energia de arrefecimento e aquecimento nos edifícios. Portanto, determinar e seleccionar a espessura óptima de isolamento térmico é um assunto de extrema importância. O isolamento tem sido alvo de um interesse crescente nos últimos anos, não só pelo facto ambiental de consumo energético, mas também pelo preço crescente e elevado da energia. Em países que importam a maioria da energia, como é o caso de Portugal, a poupança de energia e o seu uso eficiente, têm-se tornado aspectos relevantes. O consumo de energia dispendida para aquecimento nas diversas regiões é elevado porque existe falta de isolamento térmico nos edifícios. Portanto, a espessura óptima de isolamento térmico, foi calculada para formas de energia e tempos de ciclo de vida diferentes para as três regiões climáticas de aquecimento de Portugal. Neste estudo a determinação da espessura de isolamento térmica é baseada na análise económica de ciclo de vida. O método mais simples e intuitivo de estimar o consumo energético usado foi o método graus – dias. O RCCTE (DL 80/2006) é um novo regulamento das características de comportamento térmico de edifícios em Portugal. Não se sabia, se a espessura exigida neste regulamento, se tratava da espessura económica que tomava em conta as diferentes zonas climáticas e o custo da energia. A espessura óptima de isolamento térmico para as paredes exteriores para 20 anos de tempo de ciclo de vida varia entre 0,058 e 0,122 m para a região I1, 0,075 e 0,150 m para a região I2 e 0,097 e 0,188 m para a região I3, dependendo da forma de energia. Para 40 anos de tempo de ciclo de vida, a espessura óptima para as paredes externas varia de 0,084 a 0,166 m para a região I1, 0,106 a 0,204 m para a região I2 e 0,135 a 0,251 m para a região I3, dependendo da forma de energia. Valores algo diferentes dos recomendados pelo RCCTE. O valor do tempo de retorno do investimento encontra-se abaixo de 4,6 anos para 20 anos de tempo de ciclo de vida e 5,6 anos para 40 anos de tempo de ciclo de vida.

Por outro lado, existem softwares de distribuição gratuita para verificar o regulamento presente. Foi mostrado que estes softwares não são fiáveis tendo em conta a discrepância de valores apresentados quando sujeitas ao cálculo de situações idênticas. Nestes softwares, o cálculo da área equivalente de envidraçado não é bem realizado relativamente à folha de cálculo.

Keywords

Optimum insulation thickness; energy savings; different energy sources; economic life cycle cost analyses; degree day method; climatic zones

Abstract

Thermal insulation is one of the most effective energy conservation measures for cooling and heating in buildings. Therefore determining and selecting the optimum thickness of insulation is an important issue to take into account. Insulation of buildings has been gaining much more interest in recent years not only for the environmental effect of the consumed energy but also the high cost of energy. In countries that import most of their energy, like Portugal, energy saving and the effective usage of energy become much more important. Energy consumption for heating in different zones is too high in Portugal because buildings have a lack of insulation. Therefore, the optimum insulation thickness for different energy sources and two different life cycle times are calculated for the three different climate zones in Portugal. In this study the determination of optimum insulation thickness is based on the life cycle cost analyses. The degree-days method that is the simplest and most intuitive way of estimating the annual energy consumption of a building is also used in this study. The RCCTE - (DL 80/2006) is a new regulation of the characteristics of thermal behaviour of buildings in Portugal. This regulation demands minimum thermal qualities in building envelope. Isn't known if the insulation thickness required in this regulation is the economic insulation thickness who takes into account local climate zone and the cost of energy. The optimum insulation thickness for external walls for 20 years of life cycle varies between 0,058 to 0,122 m in the climate zone I1, 0,075 to 0,150 m in the climate zone I2 and 0,097 to 0,188 m in the climate zone I3 depending of the energy used. For 40 years of life cycle the optimum insulation thickness for external wall varies between 0,084 to 0,166 m for climate zone I1, 0,106 to 0,204 m and for climate zone I2 and 0,135 to 0,251 m for climate zone I3. The *payback* period is lower than 4,6 years for 20 years of life cycle e 5,6 years for 40 years of life cycle.

In other hand there are free software's to verify the present regulation. It was shown that these software's were not reliable whereas compared in the same situation. In these software's the calculation of the equivalent glazing area isn't well done compared to spreadsheet.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	3
1.3 Organização da dissertação	4
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1 Sumário	5
2.2 Perda de calor pela envolvente de um edifício	5
2.2.1 Coeficiente global de transmissão de calor.....	5
2.2.2 Forma do edifício e o coeficiente de transmissão de calor	6
2.3 Cálculo da espessura de isolamento óptima.....	10
2.3.1 Métodos de estimar o consumo de climatização	11
2.3.2 Custo anual de energia para climatização.....	12
2.3.3 Análises económicas para determinar a espessura de isolamento óptima	13
2.4 Aspectos importantes no Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE - DL 80/2006)	25
2.5 Conclusão	30
3. Modelos e métodos	31
3.1 Sumário.....	31
3.2 Método de análise económica de ciclo de vida	31
3.2.1 Custos totais mínimos no tempo de ciclo de vida de uma superfície da envolvente opaca	31
3.2.2 Custos totais mínimos no tempo de ciclo de vida de um edifício padrão.....	33
3.2.2.1 Espessura óptima que minimiza os custos totais de um edifício.....	33
3.2.2.2 Coeficiente de transmissão de calor óptimo L ($W/^{\circ}C$) que minimiza os custos totais de um edifício	36
3.2.2.3 Verificação do método proposto	37
3.2.2.3.1 Definição do edifício padrão.....	37
3.2.2.3.2 Análise do método proposto	38
3.3 Conclusão.....	39
4. Caso de estudo.....	40
4.1 Sumário.....	40

4.2	Análise do nível económico de isolamento térmico nos edifícios residenciais em Portugal	40
4.2.1	Comparação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de um edifício	41
4.2.2	Definição dos locais de estudo	42
4.2.3	Valores necessários para o cálculo do nível de isolamento térmico.	42
4.2.4	Procedimento	44
4.3	Análise comparativa de softwares de verificação térmica do RCCTE (DL 80/2006) disponíveis gratuitamente.....	45
4.3.1	Situação padrão para comparar os softwares de verificação térmica.....	46
4.3.1.1	Situação padrão para software EPS da ACEPE.....	46
4.3.1.2	Situação padrão para software Preceram RCCTE 2007.....	51
4.3.2	Procedimento	56
5.	Discussão de resultados	57
5.1	Sumário.....	57
5.2	Discussão dos resultados da análise do nível óptimo de isolamento térmico.....	57
5.2.1	Coeficientes de transmissão de calor óptimos e respectivas espessuras óptimas de isolamento térmico	57
5.2.1.1	Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida.....	57
5.2.1.2	Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida:.....	59
5.2.2	Comportamento do coeficiente global de transmissão de calor	61
5.2.3	Custos totais no tempo de ciclo de vida para os diferentes concelhos	62
5.2.3.1	Resultados obtidos para o tempo de ciclo de vida de 20 anos:	62
5.2.3.2	Resultados obtidos para o tempo de ciclo de vida de 40 anos	65
5.2.4	Comportamento do valor do tempo de retorno do investimento (<i>payback</i>)	69
5.2.5	Custos e poupanças anuais com a aplicação de isolamento térmico no edifício padrão e respectivos tempos de retorno do investimento.....	71
5.2.5.1	Análise para um tempo de ciclo de vida de 20 anos.	71
5.2.5.2	Análise para um tempo de vida de 40 anos.	73
5.2.6	Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o edifício padrão considerando que já possuía isolamento de 40mm de espessura	75
5.2.6.1	Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida:.....	75
5.2.6.2	Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida.....	77
5.2.7	Análise de sensibilidade aos resultados obtidos variando o preço da energia	78

5.2.7.1	Análise da espessura óptima de isolamento térmico	78
5.2.7.1.1	Análise para 20 anos de tempo de vida	79
5.2.7.1.2	Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida	81
5.2.7.2	Análise do tempo de retorno do investimento	83
5.2.7.2.1	Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida	83
5.2.7.2.2	Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida	85
5.2.8	Análise de sensibilidade aos resultados obtidos variando o rendimento de combustão	87
5.2.8.1	Análise da sensibilidade para diferentes valores de graus – dias	87
5.2.8.1.1	Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida	87
5.2.8.1.2	Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida	88
5.2.8.2	Análise de sensibilidade para as regiões em estudo	89
5.2.8.2.1	Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida	89
5.2.8.2.2	Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida	91
5.3	Discussão dos resultados da análise comparativa dos softwares de verificação térmica... ..	95
6.	Conclusões	100
6.1	Sumário	100
6.2	Conclusões Gerais	100
6.3	Trabalhos Futuros	104

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Frequentemente observa-se o preço do crude a aumentar. Se nenhuma atitude for tomada poderá acontecer uma crise social e económica que afectará todo o mundo. Pensando bem, tudo o que nos rodeia, está ou foi dependente da energia. A maior parte da energia deriva do petróleo. As políticas, decisões e conflitos dos países estão muitas vezes relacionadas com a energia. De facto, as reservas conhecidas colocam-nos num cenário preocupante, propulsor de novas acções com vista ao consumo racional de energia. No contexto europeu todos os países aderiram ao protocolo de Quioto prometendo assim reduzir os consumos energéticos. Como se sabe, a Europa não tem grandes reservas de petróleo e existe alguma preocupação na segurança de abastecimento. A dependência da União europeia em relação às importações de energia atingirá 70% em 2030 (a comparar com os 50% actuais). Mais de 40% do consumo de energia corresponde ao sector do imobiliário, essencialmente para aquecimento de espaços e de água, refrigeração (climatização) e iluminação. Calcula-se existir, em condições economicamente rentáveis, um potencial de poupança superior a 22% desse consumo [1].

Em 2001, a Comissão Europeia avançou com a proposta de uma Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) (Directiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002).

Em Portugal com a entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE - DL 80/2006) [2] todos os edifícios em Portugal terão de ter um certificado de eficiência energética. O bastonário da Ordem dos Engenheiros, Fernando Santo, admite que o preço de casas novas possa aumentar, fruto de um maior investimento na qualidade da construção. No entanto, sublinha, os ajustamentos de mercado são "irrelevantes", se tivermos em conta que "o acréscimo de custos na execução da obra é compensado ao longo dos 40 ou 50 anos de vida do edifício", com a redução da factura energética.

Com as novas exigências, a construção vai ter regras mais severas. "O objectivo é diminuir o consumo de energia per capita, não através da redução do conforto das pessoas, mas através de normas mais apertadas na projecção e concepção dos edifícios", explica Fernando Santo. Esta opção implica a generalização de boas práticas na aplicação de materiais e protecções térmicas, como é o caso, por exemplo, de paredes duplas com caixas-de-ar, que diminuem para metade o consumo de energia.

Com o tempo, a factura energética tenderá a diminuir para níveis mais aconselháveis que os actuais. O bastonário dá o exemplo do concelho de Lisboa, onde o consumo de energia por edifícios representa 46% do total, acima do que é consumido com transportes (42%). Se tivermos em conta que os edifícios de serviços representam 65% do consumo de energia primária dos edifícios do concelho e que os habitacionais se ficam pelos 35%, o cenário torna-se mais preocupante.

Estes valores estão em consonância com outros países europeus, o que levou a Comissão Europeia a emitir uma directiva que obriga os estados-membros à certificação energética a partir de 4 de Janeiro de 2006. O certificado energético consistirá numa etiqueta com as informações sobre a performance energética de cada edifício. Há sete classificações possíveis, que vão de A (a melhor, que representa menos gastos com energia) a G (a pior). Um projecto para construção de um novo edifício só será aprovado se, com base em simulações, estiver nas duas categorias que menos obrigam a consumo de energia.

Os edifícios já construídos também vão ser certificados, e a avaliação vai ocorrer de seis em seis anos. Os casos mais graves de consumo excessivo em escritórios serão obrigados a preparar um plano de redução de consumos. Qualquer certificado virá acompanhado de sugestões de medidas para reduzir a factura energética.

Os ajustamentos de preços decorrentes do novo quadro legal poderão também beneficiar, no imediato, os consumidores. A nível de arrendamento, por exemplo, os prédios com má classificação energética sofrerão pressão do mercado para ajustar a renda ao valor real da qualidade do edifício.

Para Fernando Santo, o novo quadro legal "vai responsabilizar" consumidores, promotores de obras e projectistas, acabando com um sistema aleatório: "Em Portugal, há prédios bons e prédios maus, e a média é algo que está no meio, impossível de estabelecer", diz. "As pessoas têm que perceber que, numa casa, a aparência não é o mais importante, e sim o que não se vê", afirma o bastonário, sublinhando que ainda prevalece pouca sensibilidade para a qualidade do edificado: "Temos hoje edifícios com três e quatro anos que precisam de obras de beneficiação por utilização de material inadequado".

Para além da habitação e serviços, a certificação chegará também a grandes espaços públicos, como centros comerciais ou cinemas. Também o edificado público, a nível de serviços, será alvo de avaliação, embora nestes casos o bastonário revele reticências quanto à efectividade da certificação. "Em termos de qualidade de construção, as obras públicas são, muitas vezes, as principais incumpridoras", acusa.

O bastonário entende que, ao longo das últimas décadas, "temos vindo a construir autênticos caixotes, em termos energéticos". O responsável admite algum excesso de promotores imobiliários, mas sente que os consumidores também têm quota-parte de responsabilidade na proliferação desmesurada do parque habitacional. "Nos últimos sete ou oito anos, a produção de casas duplicou, mas os preços não baixaram, porque a procura irracional manteve a tendência inflacionária". Para o bastonário, estamos no momento em que é necessária alguma racionalidade no sector. "Somos um dos países mais pobres da Europa, mas um dos que têm maior taxa de habitação própria", lembra. [3]

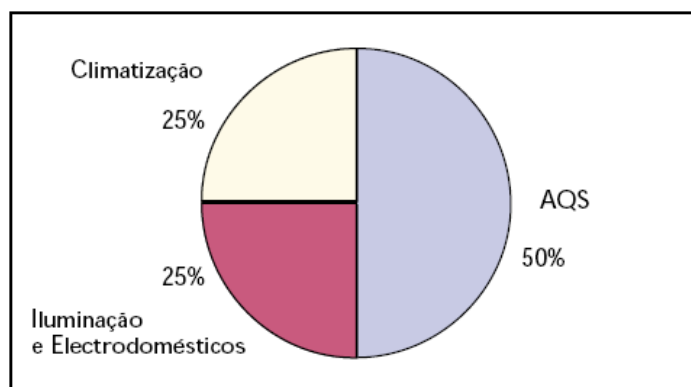


Figura 1 - Repartição dos consumos energéticos no sector doméstico [13]

A climatização é responsável pelo consumo de 25% da energia gasta nos edifícios como se vê na figura 1. Se esta fatia for reduzida consegue-se reduzir o consumo no sector doméstico.

A energia gasta na climatização depende de muitos factores. Depende do clima, da geometria do edifício, da temperatura do interior, do tipo de janelas utilizadas, área envidraçada, orientação das janelas e de muitos mais factores mas o que mais influencia é a tipologia da envolvente, ou seja o nível de isolamento térmico utilizado. [4]

1.2 Objectivos

O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE, DL 80/2006) impõe novas exigências no que se refere à qualidade dos edifícios, nomeadamente ao nível de isolamento térmico das fachadas. Contudo, não se sabe se os níveis de isolamento térmico agora prescritos correspondem ao nível de isolamento económico tendo em conta o clima local e o custo da energia.

A finalidade deste trabalho é encontrar o nível de isolamento óptimo quer do ponto de vista económico quer do ponto de vista térmico. Esta espessura de isolamento deverá estar dimensionada para as várias formas de energia, regiões climáticas de Portugal e deverá estar preparada para prever variações do preço de combustível e rendimentos de combustão. É claramente perceptível que o isolamento excessivo como o isolamento deficiente não é eficiente do ponto de vista económico. Isolamento excessivo leva a um consumo menor de energia mas requer um custo inicial mais elevado. Contrariamente falta de isolamento leva a um consumo maior de energia mas com um investimento inicial mais baixo.

Por outro lado, vários são os pacotes de softwares disponíveis para a verificação do RCCTE, uns de distribuição gratuita, outros com custo de aquisição definido. Tendo em conta o impacto e influência que estes têm na definição da classificação energética dos edifícios é do interesse deste trabalho analisar estes softwares e verificar até que ponto são obtidos resultados semelhantes, para um mesmo caso de estudo.

1.3 Organização da dissertação

A dissertação divide-se em seis partes distintas que são a introdução, revisão bibliográfica, os modelos e métodos, caso de estudo, a discussão dos resultados e conclusões.

A revisão bibliográfica incidiu em pesquisar informação em trabalhos semelhantes já realizados noutros países. A pesquisa de informação no RCCTE (DL 80/2006) também foi necessária para saber os passos a tomar e os dados necessários para a realização da dissertação.

Nos métodos e modelos foram enunciados as fórmulas a utilizar no trabalho e também foram desenvolvidos e provados outros métodos.

No caso de estudo está presente todo o procedimento tomado para alcançar os resultados obtidos.

Na discussão de resultados foram mostrados e interpretados os resultados obtidos depois de aplicados os métodos e modelos no caso de estudo. Foi também realizada uma análise de sensibilidade aos resultados obtidos.

Por fim, nas conclusões finais estão presentes todas as verdades que se obtiveram com a realização deste trabalho académico.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Sumário

Foi realizada uma análise bibliográfica principalmente a trabalhos de investigação já realizados noutros países. A Turquia tem alguns trabalhos realizados neste âmbito. Estes trabalhos foram pesquisados a partir da fonte electrónica de trabalhos de investigação Science Direct. Foram escolhidos trabalhos de estudo relacionados com aquecimento residencial, necessidades energéticas e melhoramento dos níveis de isolamento térmico dos edifícios.

2.2 Perda de calor pela envolvente de um edifício

A perda de calor de um edifício acontece maioritariamente a partir das paredes externas, tecto, janelas, pavimento e por infiltração de ar. A perda de calor de uma superfície por unidade de área pode ser calculada a partir da seguinte fórmula:

$$q=U(T_b-T_o) \quad (1)$$

Onde U é o coeficiente de transmissão de calor, T_b é a temperatura de referência interior e T_o é a temperatura média diária exterior.

2.2.1 Coeficiente global de transmissão de calor

Para uma parede típica, o coeficiente de transmissão de calor ($W/m^2 \cdot ^\circ C$). É dado pela fórmula seguinte:

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (2)$$

Onde R_i e R_o são as resistências térmicas do filme interior e exterior respectivamente ($m^2 \cdot ^\circ C/W$). R_w é resistência térmica da parede sem isolamento ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) e R_{is} é a resistência térmica da camada de isolamento ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) que é dada pela seguinte fórmula:

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (3)$$

Onde x (m) e o k ($W/m \cdot ^\circ C$) são a espessura e a condutividade térmica do isolamento respectivamente.

Se for considerado que R_{tw} é a resistência total da parede excluindo a resistência térmica do isolamento, o coeficiente de transmissão de calor será dado pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{tw} + \frac{x}{k}} \quad (4)$$

2.2.2 Forma do edifício e o coeficiente de transmissão de calor

A forma e o coeficiente de transmissão de calor U ($W/m^2\text{°C}$) da envolvente são parâmetros importantes que afectam a qualidade térmica interior de um edifício residencial e por isso devem ser analisados com detalhe.

A seguinte metodologia permite determinar os valores limite do coeficiente de transmissão de calor com base no valor do factor de forma e outros aspectos de construção como por exemplo orientação relativa ao sol, tipos de janela, propriedades ópticas e termo físicas da envolvente do edifício. Estes aspectos afectam o conforto térmico e por sua vez o consumo energético.

O factor de forma trata-se da relação entre a área e o volume. A fracção entre a área e o volume é o melhor indicador da forma de um edifício.

Segundo o RCCTE (DL 80/2006) o factor de forma pode ser calculado da seguinte forma:

$$FF = [A_{ext} + \sum (\tau A_{int})] / V \quad (5)$$

Em que A_{ext} é o valor de todas as áreas em contacto com o exterior, A_{int} são as áreas interiores e V é o volume do edifício. O valor de τ encontra-se na tabela presente no anexo IV.1 do RCCTE e trata-se de um factor que se multiplica às áreas da envolvente em contacto com espaços não úteis, para se obter uma área equivalente em contacto com o exterior.

A metodologia proposta por Gül Koclar Oral e Zerrin Yilmaz [5], tenta determinar primeiro o valor do coeficiente de transmissão de calor U_o ($W/m^2\text{°C}$) e posteriormente o valor revisto do coeficiente de transmissão de calor U_{or} considerando o factor de forma. U_o é determinado com base na relação de transparência, ou seja, a relação entre a área envidraçada e a área total da fachada e com base também no tipo de transparência e na orientação do edifício. U_o ($W/m^2\text{°C}$) foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$U_o = \frac{h_i(t_i - \overline{t_{io}})}{(t_i - \overline{t_{eo}})} \quad (6)$$

Onde:

h_i : coeficiente de transferência de calor superficial interno, ($W/m^2\text{°C}$)

t_i : Temperatura interna de conforto, $^{\circ}\text{C}$

$\overline{t_{io}}$: valor limite para a temperatura interior da superfície de componentes opacas, ($^{\circ}\text{C}$)
dado pela seguinte fórmula:

$$\overline{t_{io}} = \frac{t_{is} - \overline{t_{ig}}X}{1 - X} \quad (7)$$

Onde:

t_{is} : valor pretendido para a temperatura da superfície interior do edifício,

$$t_{is} = (t_i - \varepsilon) \quad (8)$$

t_{ig} : temperaturas horárias da superfície interior para as componentes transparentes,

$$t_{ig} = \frac{[U_g(t_i - t_{eg}) - (F_s I_D \tau_D + \tau_d I_d) + h_i t_i]}{h_i} \quad (9)$$

ε : Valor permissível para a diferença da temperatura média

U_g : coeficiente de transferência de calor dos componentes transparentes, (W/m² °C)

$\overline{t_{eg}}$: temperatura média diária ar-sol que afecta os componentes transparentes, °C

I_D, I_d : radiação solar na superfície directa e difusa respectivamente (W/m²),

τ_D, τ_d : transmissibilidade do vidro para radiação directa e difusa respectivamente,

F_s : fracção solar do envidraçado,

$\overline{t_{eo}}$: temperatura média diária ar-sol que afecta as fachadas opacas, °C.

Calcula-se a perda de calor utilizando o coeficiente de transmissão de calor calculado acima na fórmula (6) com a seguinte formula que depende da área de pavimento e do factor de forma do edifício:

$$q = U_o(t_i - \overline{t_{eo}})(1 - X) + U_g(t_i - \overline{t_{eg}})X \quad (10)$$

Onde

q : perdas de calor médias horárias do dia por unidade de área da envolvente do edifício, (W/m²)

U_o : coeficiente de transferência de calor das componentes opacas, (W/m² °C)

U_g : coeficiente de transferência de calor dos componentes transparentes, (W/m² °C)

$\overline{t_{eo}}$: temperatura média diária ar-sol que afecta as componentes opacas, °C

X : relação de transparência, ou seja, entre a área envidraçada e a área de fachada.

Assim a perda total de calor através de toda a fachada é calculada para diferentes factores de forma pela seguinte fórmula:

$$Q = (q_1.A_1) + (q_2.A_2) + \dots + (q_n.A_n) + (q_r.A_r) \quad (11)$$

Onde:

q_1, q_2, \dots, q_n : perdas de calor médias horárias por unidade de área da envolvente do edifício para cada orientação, W/m^2

A_1, A_2, \dots, A_n : área das fachadas para cada orientação, m^2

q_r : perdas de calor médias horárias por unidade de área do tecto do edifício, W/m^2

A_r : área do tecto, m^2 .

De seguida, mostra-se o método gráfico para otimizar o coeficiente de transmissão de calor, ou seja, encontrar U_{or} revisto, com base na forma óptima, para uma forma do edifício genérica:

Primeiro encontra-se o valor de U_o independente da forma do edifício para todas as orientações a partir da sua relação de transparência por exemplo para Norte e Sul como se pode ver na seguinte figura:

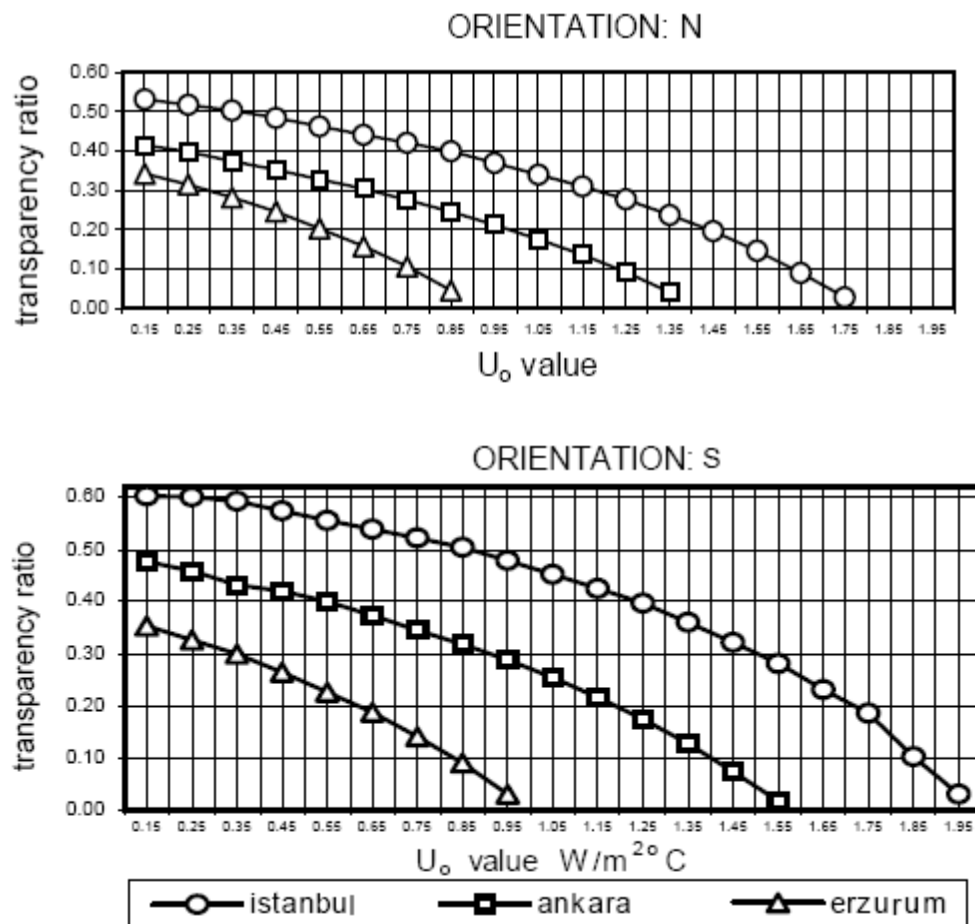


Figura 2 - A variação do valor limite U_o independente da forma do edifício [5].

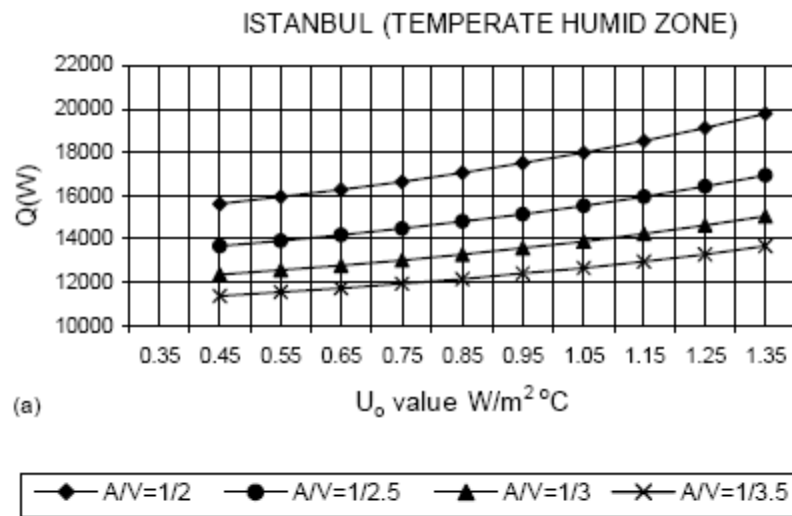


Figura 3 - A variação da perda de calor Q para cada coeficiente de transmissão de calor [5].

Depois encontra-se a perda de calor relativa a U_0 . O valor do factor de forma que minimiza a transmissão de calor é qualificado como o factor de forma de referência. Neste caso, o factor de forma de referência é $A/V=1/3.5$. Se o edifício tem este factor de forma já não se encontra o valor de U_{or} revisto porque este valor é encontrado em relação ao valor do factor de forma de referência. Se o edifício em estudo tem um factor de forma superior ao de referência então existe um coeficiente global de transmissão de calor óptimo para essa forma de edifício. O valor de U_{or} é determinado a partir do valor de U_0 determinado como se mostra na figura 2 da seguinte forma:

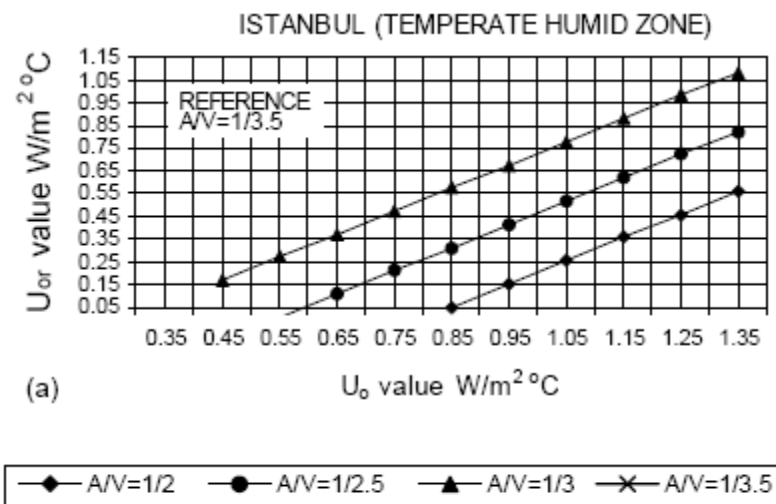


Figura 4 -Gráfico que relaciona U_{or} com U_0 para vários valores de factor de forma [5].

Por exemplo, para outra cidade foi encontrado o valor de U_{or} para um factor de forma $A/V=1/2.5$ utilizando a seguinte metodologia:

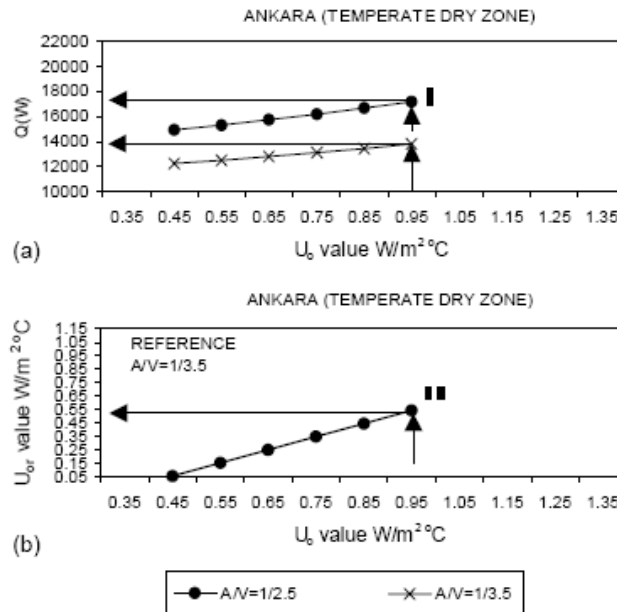


Figura 5 -Exemplo para determinar U_{or} [5].

Escolhendo $A/V=1/2.5$ e $U_o= 0.95 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$, na figura 4a vê-se que este edifício tem uma perda de calor de 17197,96 W. Para o mesmo U_o o edifício com a forma de referência perde 13824,78 W. Este último valor torna-se o valor de referência para o edifício em estudo e para que tal aconteça este edifício terá que ter um coeficiente de transmissão de calor de $0,55 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$ em vez de $0.95 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$.

No caso do valor de U_{or} ser muito baixo, que não permita a construção é recomendado que sejam revistos os valores de projecto como por exemplo a orientação, forma do edifício, absorvidade da fachada do edifício e tipo de janela utilizada.

A forma do edifício de referência deve ser utilizada preferencialmente nas zonas de clima frio para que não exista o problema de não ser possível a aplicação de U_{or} dado que este valor poderia ser baixo demais.

2.3 Cálculo da espessura de isolamento óptima

A espessura de isolamento óptima, tanto pode ser calculada para a estação de aquecimento como para a estação de arrefecimento. Para edifícios situados em climas frios é preferível realizar o cálculo do isolamento óptimo com base nos dados da estação de aquecimento. Igualmente para edifícios situados em climas quentes é preferível realizar o cálculo com base nos dados da estação de arrefecimento. Dizendo melhor, a espessura de isolamento óptima deve ser calculada para a estação onde existam maiores e mais longas diferenças de temperatura interna de referência e externa.

No trabalho de Ali Bolattürk[4], a espessura óptima de isolamento, com base nas cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, foi calculada para diferentes temperaturas interiores para várias cidades da primeira zona climática da Turquia. Na Turquia existem quatro zonas climáticas e a primeira zona é a que tem um clima mais quente comparada com as outras.

2.3.1 Métodos de estimar o consumo de climatização

Existem vários métodos para o cálculo do consumo de energia. A mais simples e intuitiva forma de estimar o consumo energético é utilizando o método graus-dias ou graus-horas. Este método é uma aproximação ao estado de equilíbrio. É baseado em condições interiores contínuas durante a época de aquecimento ou arrefecimento e assume que a eficiência do sistema de aquecimento ou arrefecimento não varia com a temperatura exterior. Este método assume que a energia necessária para a climatização de um edifício é proporcional à diferença entre a temperatura média horária e a temperatura interior de referência. Assim, caracteriza a severidade de um clima, ou seja quanto mais alto for este valor mais energia terá que ser gasta para climatizar o edifício.

No RCCTE (DL 80/2006) [2] os graus - dias de aquecimento foram calculados para uma temperatura base de 20°C. O valor de graus dias é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre a temperatura de base e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

No trabalho de Ali Bolattürk[4], foi utilizado o número anual de graus-horas de aquecimento e arrefecimento para estimar o consumo de energia com várias espessuras de isolamento térmico. O número de graus-horas de aquecimento (HDH) foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$HDH = (1 \text{ ano}) \sum_{1}^{365} (1 \text{ dia}) \sum_{1}^{24} (T_b - T_{sa})^+ \quad (12)$$

Onde T_b é a temperatura de base e T_{sa} é a temperatura sol-ar para cada hora. O sinal + acima do parentesis significa que apenas os valores positivos são tidos em conta e que quando a diferença de temperaturas é negativa o valor da diferença será nulo ($T_{sa} > T_b$). O número de graus-horas de arrefecimento (CDH) foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$CDH = (1 \text{ ano}) \sum_{1}^{365} (1 \text{ dia}) \sum_{1}^{24} (T_{sa} - T_b)^+ \quad (13)$$

Para superfícies opacas como as paredes e os telhados, o efeito da radiação solar foi tomado em conta considerando que a temperatura exterior era mais alta devido ao efeito da radiação como mostra a seguinte fórmula:

$$T_{sa} = T_o + \frac{\alpha_s \dot{q}_{solar}}{h_o} - \frac{\varepsilon \sigma (T_o^4 - T_{surr}^4)}{h_o} \quad (14)$$

Onde T_o é a média horária da temperatura ambiente (K), α_s é a absorvidade solar, h_o é o coeficiente de transferência de calor ($W/m^2.K$) exterior que combina convecção e radiação, \dot{q}_{solar} é a radiação incidente na superfície (W/m^2), ε a emissividade da superfície e σ é a constante de Stefan – Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$). O segundo termo indica o ganho solar na superfície opaca enquanto que o último termo representa uma correcção à temperatura para a transferência de calor por radiação quando $T_{surr} \neq T_o$.

Com este método, a perda de calor pela superfície em estudo por unidade de área será:

$$q = HDH \times U, \text{ para aquecimento} \quad (15)$$

$$q = CDH \times U, \text{ para arrefecimento} \quad (16)$$

Por outro lado utilizando graus - dias será:

$$q = 86400 \times HDD \times U, \text{ para aquecimento} \quad (17)$$

$$q = 86400 \times CDD \times U, \text{ para arrefecimento} \quad (18)$$

2.3.2 Custo anual de energia para climatização

O custo total de energia para aquecimento por unidade de área (m^2) poderá ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$E_{A,H} = \frac{C_F U}{LHV \eta_s} HDH \quad (19)$$

Onde HDH é o número de graus-horas de aquecimento, C_F é o custo do combustível em $\$/m^3$, LHV é o poder calorífico inferior do combustível em J/m^3 e η_s é a eficiência do sistema de aquecimento. Similarmente o custo de energia para arrefecimento poderá ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$E_{A,C} = \frac{C_E U}{COP} CDH \quad (20)$$

Onde CDH é o número de graus-horas de arrefecimento, C_E é o custo da electricidade em $\$/KWh$ e o COP é o coeficiente de performance do sistema de arrefecimento.

2.3.3 Análises económicas para determinar a espessura de isolamento óptima

No mesmo estudo de Ali Bolattürk [4], foi usado o método P_1 - P_2 para determinar o valor presente das poupanças de energia. Este método pode ser utilizado para otimizar o isolamento de superfícies externas. P_1 é o factor presente PWF (present worth factor), ou seja, relaciona o valor do dinheiro futuro com o presente a partir da taxa de inflação e da taxa de juro. P_1 é dado pela seguinte fórmula:

$$P_1(N, i, d) = \sum_{j=1}^N \frac{(1+i)^{j-1}}{(1+d)^j} = \begin{cases} \frac{1}{d-1} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right], & \text{se } i \neq d \\ \frac{N}{i+1}, & \text{se } i = d \end{cases} \quad (21)$$

Onde N é o número de anos em que se pretende realizar a análise económica, i é a taxa de juro e d é a taxa de inflação.

P_2 é a relação das despesas do ciclo de vida devidas ao investimento adicional de capital com o investimento inicial. P_2 é definido como

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - R_v (1+d)^{-N} \quad (22)$$

Onde M_s é a relação da manutenção e operação anual com o custo inicial original, R_v e a relação do valor de revenda com o custo inicial. P_2 pode tomar o valor de 1 se o custo de operação e manutenção for desprezado.

O custo de isolamento será:

$$C_{ins} = C_I x \quad (23)$$

Onde C_I é o custo do isolamento em $\$/m^3$ e x é a espessura de isolamento em metros.

As poupanças energéticas de aquecimento por unidade de área durante o tempo de vida são formuladas pelo método P_1 - P_2 que se mostra a seguir:

$$S_H = P_1 E_{A,H} - P_2 C_{ins} \quad (24)$$

Com as variáveis substituídas:

$$S_H = \frac{P_1 C_F \Delta U}{LHV \eta_s} HDH - P_2 C_I x \quad (25)$$

Onde ΔU é a diferença entre o coeficiente de transmissão de calor ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) sem isolamento e com isolamento ou seja:

$$\Delta U = \frac{1}{R_{tw}} - \frac{1}{R_{tw} + x/k} \quad (26)$$

O melhor valor para a poupança energética é o maior possível, logo derivando a função, igualando a zero a derivada e vendo os sinais da mesma é encontrado o máximo da função.

$$\frac{\partial S_H}{\partial x} = \frac{\partial(\Delta U)}{\partial x} \frac{P_1 C_F HDH}{LHV \eta_s} - P_2 C_I x \quad (27)$$

O máximo da função é dado pela seguinte expressão:

$$x_{op,H} = \left(\frac{P_1 C_F k HDH}{P_2 C_I LHV \eta_s} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (28)$$

O cálculo do tempo de retorno mais conhecido por *payback* é conseguido igualando as poupanças (25) a zero.

$$N_{P,H} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_I LHV \eta_s (R_{tw} x + R_{tw}^2 k)(d - i)}{C_F HDH} \right]}{\ln \left(\frac{1 + i}{1 + d} \right)}, \text{ se } i \neq d \quad (29)$$

$$N_{P,H} = \frac{P_2 C_I LHV \eta_s (R_{tw} x + R_{tw}^2 k)(1 + i)}{C_F HDH}, \text{ se } i = d \quad (30)$$

O cálculo do custo total de aquecimento é igual a:

$$C_{t,H} = P_1 E_{A,H} + P_2 C_{ins} \quad (31)$$

Todo o raciocínio é análogo para o cálculo no caso de arrefecimento:

Poupanças energéticas:

$$S_C = \frac{P_1 C_E \Delta U}{COP} CDH - P_2 C_I x \quad (32)$$

Espessura óptima:

$$x_{op,H} = \left(\frac{P_1 C_E k CDH}{P_2 C_I COP} \right)^{1/2} - R_{tw} k \quad (33)$$

Payback:

$$N_{P,H} = \frac{\ln \left[1 - \frac{P_2 C_I COP (R_{tw} x + R_{tw}^2 k)(d - i)}{C_E CDH} \right]}{\ln \left(\frac{1 + i}{1 + d} \right)}, \text{ se } i \neq d \quad (34)$$

$$N_{P,H} = \frac{P_2 C_I COP (R_{tw} x + R_{tw}^2 k) (1 + i)}{C_E DH}, \text{ se } i = d \quad (35)$$

Custo total durante o tempo de vida:

$$C_{t,C} = P_1 E_{A,C} + P_2 C_{ins} \quad (36)$$

Por exemplo para a cidade de Antalya os valores de graus - horas de aquecimento e arrefecimento para uma temperatura de referência de 18°C estão representados na seguinte figura:

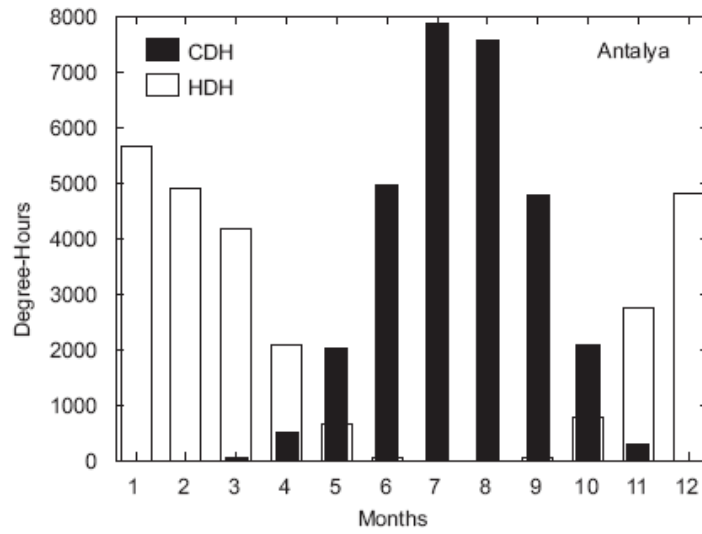


Figura 6 - Variação média mensal dos valores de graus - horas de aquecimento e arrefecimento [4].

Para a mesma cidade (Antalya $T_b=18^\circ\text{C}$), as perdas térmicas e o custos de energia, por unidade de área, para cada espessura de isolamento, em relação ao aquecimento e arrefecimento, estão representados nos seguintes gráficos a e b:

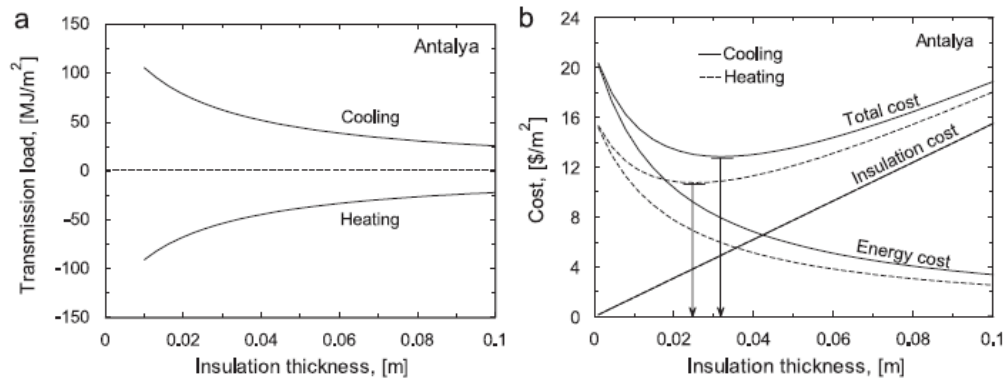


Figura 7 - (a) - Perdas térmicas anuais e (b) - Variação do custo total de energia em relação à espessura de isolamento [4].

Nota-se claramente que a aplicação da espessura óptima de isolamento térmico é mais vantajosa considerando os dados de arrefecimento. Este facto também se nota noutra cidade (Adana) variando a temperatura interior de referência, como se mostra na seguinte figura:

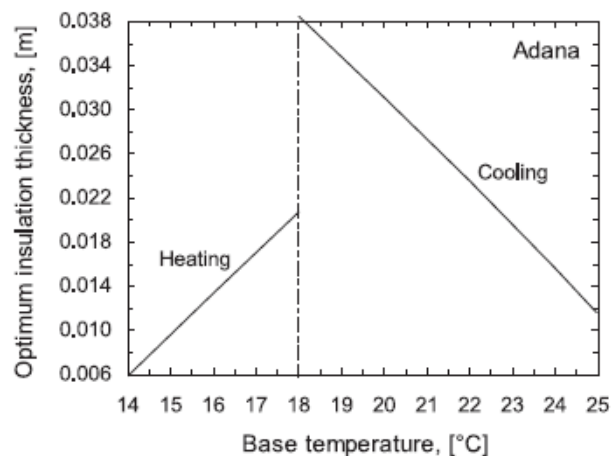


Figura 8 - Comparação da espessura óptima de isolamento térmico para aquecimento e arrefecimento [4].

É obvio que quanto maior for a espessura de isolamento menor será a perda de calor. Mas a redução na perda de calor é mais acentuada quando se vai aumentando a espessura quando esta ainda é pequena. A decisão para parar de aumentar a espessura tem que ser vista comparando as poupanças com os custos. Como se vê na figura 7 b, os custos energéticos do ciclo de vida mais o custo do isolamento, são mínimos quando se encontra a espessura de isolamento óptima. A escolha da temperatura de referência interior está relacionada com as necessidades energéticas. Na figura 8, seleccionando uma temperatura de interior mais baixa leva a um consumo mais alto na época de arrefecimento (maior espessura de isolamento), mas a um consumo menor na época de aquecimento. É importante realizar o cálculo do isolamento óptimo para o arrefecimento para climas mais quentes. Por exemplo, na cidade de Adana a poupança de energia máxima (aplicando

a espessura de isolamento óptimo) para arrefecimento é de 12,19 \$/m² enquanto para aquecimento é de 3,54 \$/m².

No trabalho de Ö. Altan Dombayci, Mustafa Gölcü e Yasar Pancar [6], foi calculado o isolamento óptimo para paredes externas considerando várias fontes de energia. Neste estudo foram considerados apenas os graus dias de aquecimento e a análise económica utilizada de ciclo de vida (*LCCA-life cycle cost analysis*) apenas tomou em conta o PWF (*present worth factor*) com base na taxa de juro e taxa de inflação. O custo anual de energia por unidade de área foi definido como:

$$C_A = \frac{86400 DD C_F}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} \quad (37)$$

Onde DD é o número de graus - dias de aquecimento, C_F é o custo de combustível em \$/Kg e H_u é o poder calorífico inferior em J/Kg. As outras variáveis têm o mesmo significado que a equação (4). O valor para PWF é definido como se indica abaixo:

Tomando i como a taxa de juro e g como a taxa de inflação temos:

$$r = \begin{cases} \frac{i - g}{1 + g}, & \text{se } i > g \\ \frac{g - i}{1 + i}, & \text{se } i < g \end{cases} \quad (38)$$

$$PWF = \frac{(1 + r)^N - 1}{r(1 + r)^N} \quad (39)$$

Onde N é o tempo de vida do projecto e assumiu-se ser de 10 anos neste trabalho.

Se i=g então:

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (40)$$

Minimizando os custos totais determina-se a espessura óptima de isolamento térmico a partir da seguinte fórmula:

$$x_{op} = \left(\frac{DD C_F PWF k}{H_u C_i \eta} \right)^{1/2} - R_{wt} k \quad (41)$$

Como se pode ver a partir desta equação, a espessura de isolamento óptima depende do preço do combustível, preço do isolamento térmico, propriedades da parede, propriedades do

isolamento e do valor de PWF. Na seguinte figura mostram-se a evolução dos custos totais com a espessura de isolamento térmico:

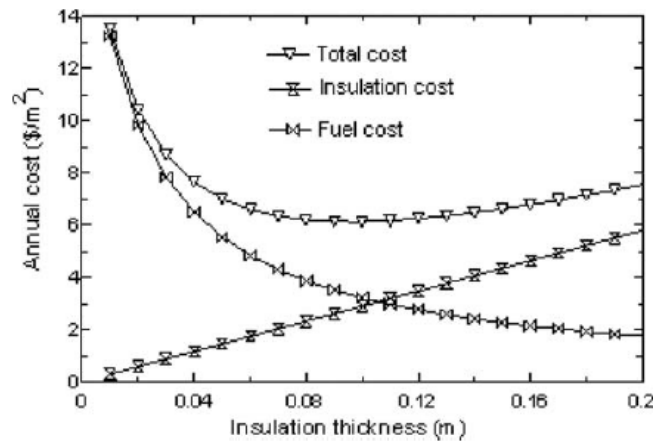


Figura 9 - Custo anual de energia para cada espessura de isolamento [6].

Como se pode ver pela figura 9, a redução do preço do combustível é mais acentuada para espessuras de isolamento mais baixas. Para espessuras de isolamento muito grandes a redução no valor de U não é muito significativa. O mínimo nos custos totais acontece para a espessura óptima de isolamento. De seguida mostra-se a variação que existe entre a espessura óptima de isolamento e o valor de PWF.

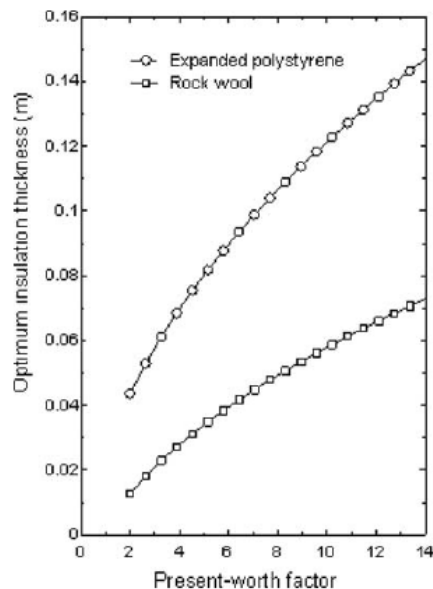


Figura 10 - Espessura óptima de isolamento para cada valor PWF [6].

O aumento de PWF faz aumentar o custo da energia no tempo do ciclo de vida e aumenta as poupanças económicas anuais de energia. Por isso o isolamento óptimo é superior. De seguida

mostra-se a dependência do tempo do *payback* e a espessura óptima de isolamento com o valor de graus - dias.

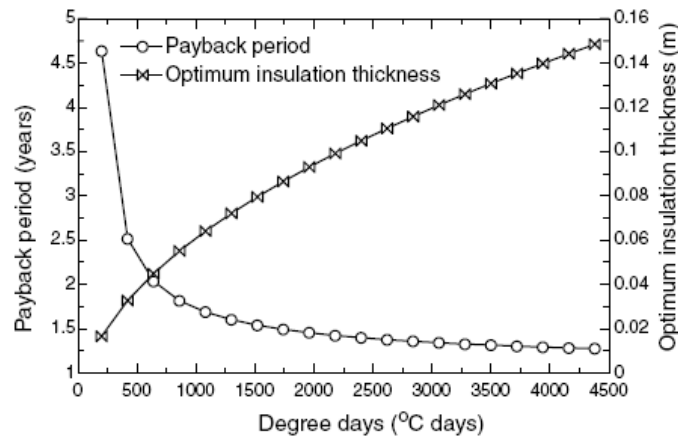


Figura 11 - Efeito do valor de graus - dias sobre o *payback* e a espessura óptima de isolamento [6].

Como se pode ver pela figura 11, o tempo do *payback* decresce para valores de graus dias elevados. Para estes valores consegue-se poupanças superiores de energia dado que é necessária uma grande quantidade de energia para estes climas. Como o custo energético é superior o isolamento óptimo também será superior. De seguida mostra-se a variação das poupanças económicas anuais com a variação da espessura de isolamento para cada combustível.

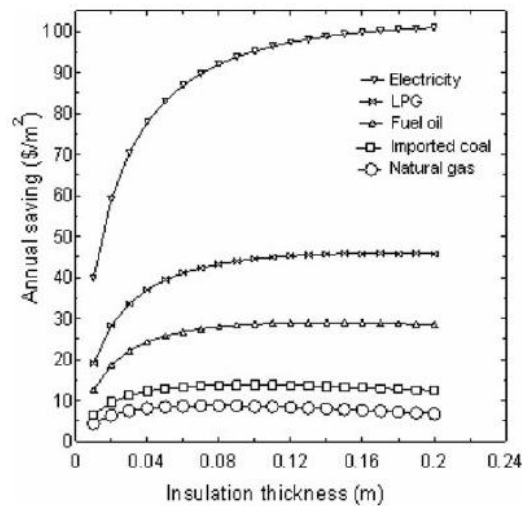


Figura 12 - Poupanças anuais de energia para diferentes tipos de energia [6].

Vê-se claramente na figura 12 que o melhor combustível é o gás natural e que não adianta aumentar em demasia a espessura de isolamento térmico.

No estudo de Kemal Çomaklı e Bedri Yükel [7], vê-se claramente este último aspecto. Os custos totais crescem devido ao custo do isolamento excessivo levando a poupanças cada vez menores como mostra a seguinte figura:

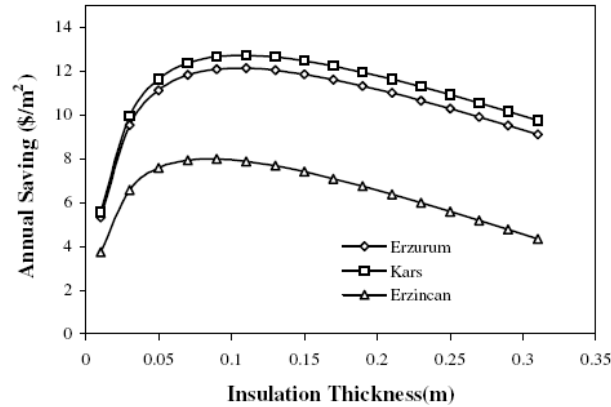


Figura 13 - Efeito do isolamento térmico sobre as poupanças anuais [7].

No trabalho de Nuri Sisman, Emin Kahya, Nil Aras e Haydar Aras [8], foi determinada a espessura ótima de isolamento para paredes exteriores e tecto para regiões com vários valores de graus dias. A espessura ótima foi obtida minimizando a seguinte fórmula:

$$C_t(x) = C_A^1 - C_A^2(x) - C_{in}(x) \quad (42)$$

Onde C_t são as poupanças totais do ciclo de vida, C_A^1 o custo de energia da parede e tecto sem isolamento no ciclo de vida, C_A^2 o custo de energia da parede e tecto isolados no ciclo de vida e C_{in} o custo do isolamento.

Para o cálculo do *payback* foi utilizada a seguinte fórmula:

$$PP = \frac{C_{in}}{C_A^1 - C_A^2} \quad (43)$$

Foram obtidas os seguintes gráficos para as espessuras ótimas de isolamento térmico onde se vê claramente a evolução da espessura ótima de isolamento com o valor de graus dias:

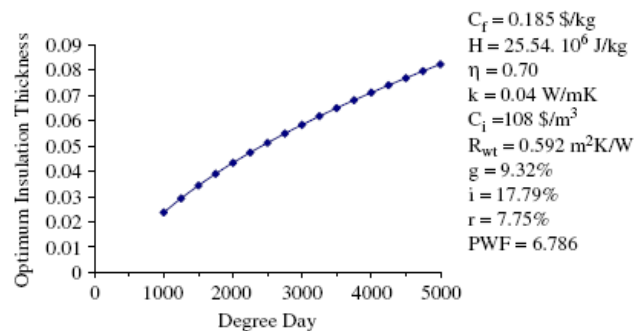


Figura 14 - Espessura ótima de isolamento para paredes externas para cada valor de graus-dias [8].

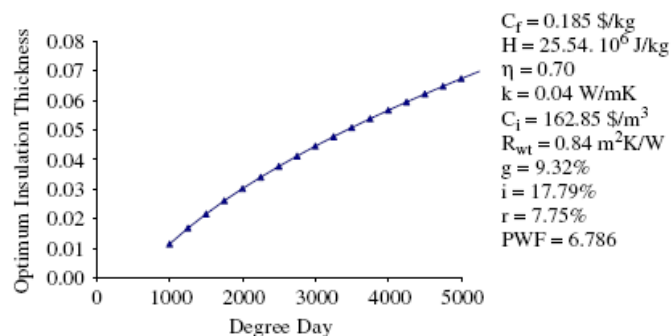


Figura 15 - Espessura óptima de isolamento para o tecto para cada valor de graus-dias [8].

No estudo de Ali Bolattürk [9], a aplicação de isolamento óptima mostrou que as poupanças energéticas são maiores para os combustíveis mais caros, como se vê na figura 16 e o respectivo *payback* também é mais rápido, como se vê na figura 17:

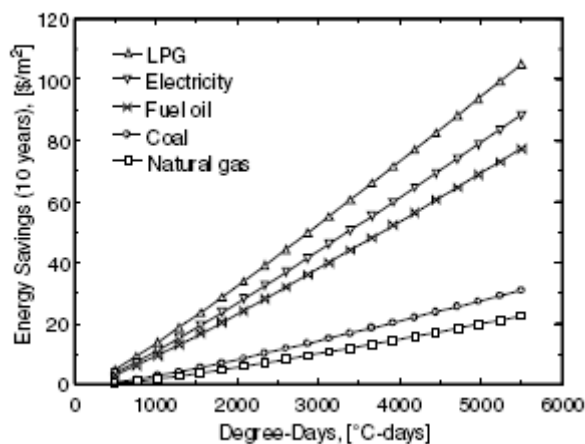


Figura 16 - Efeito do valor de graus-dias na poupança de energia para vários combustíveis [9]

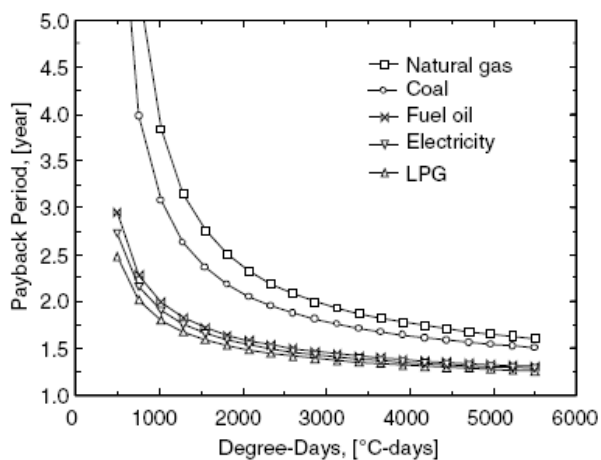


Figura 17 - Efeito do valor de graus-dias no tempo do *payback* para vários combustíveis [9]

No trabalho de O. Kaynakli [10], foi considerado um edifício modelo com as seguintes dimensões de largura, comprimento e altura 15×12×3m respectivamente. Foi também assumido que poderão existir renovações de ar de valores $I = 0.5, 1.0, 1.5$ e 2.0 (h^{-1}). O telhado, as paredes exteriores e o pavimento têm uma área respectivamente de 180, 162 e 180m^2 . O volume total do edifício é de 540m^3 . A área envidraçada (A_{wd}) é de 20% (32.4m^2), 30% (48.6m^2) 40% (64.8m^2) e 50% (81.8m^2).

O coeficiente global de transferência de calor ($\text{W}/^\circ\text{C}$) é dado por:

$$L = \sum_{i=1}^M UA + \frac{I(\rho c_p)_{air} V}{3600} \quad (44)$$

Onde M representa as zonas onde a perda de calor existe (i.e. paredes externas, janelas, tecto e pavimento), $(\rho c_p)_{air}$ é a capacidade térmica volumétrica do ar e é tomado como $1200 \text{ J}/\text{m}^3^\circ\text{C}$. O valor de L pode ser dado como:

$$L = U_{o,w}(162 - A_{wd}) + U_{wd} A_{wd} + U_{bm} A_{bm} + U_c A_c + \frac{IV}{3} \quad (45)$$

Onde $U_{o,w}$ é o coeficiente global de transferência de calor para as paredes externas, U_{wd} das janelas, U_{bm} do pavimento e U_c do tecto.

Na seguinte tabela, encontra-se o coeficiente de transferência de calor do edifício padrão (L , $\text{W}/^\circ\text{C}$) para vários tipos de vidros, área de superfície (GAP) e infiltrações de ar (ACH) para $x_{ins} = 0.03\text{m}$ (poliestireno).

Tabela 1

Coeficiente de transferência de calor do edifício (L , $\text{W}/^\circ\text{C}$) [10].

GAP (%)	Single glass				Double glass			
	0.5 ACH	1.0 ACH	1.5 ACH	2.0 ACH	0.5 ACH	1.0 ACH	1.5 ACH	2.0 ACH
20	561.1	651.1	741.1	831.1	481.8	571.8	661.8	751.8
30	646.5	736.5	826.5	916.5	527.5	617.5	707.5	797.5
40	731.9	821.9	911.9	1001.9	573.2	663.2	753.2	843.2
50	817.3	907.3	997.3	1087.3	618.9	708.9	798.9	888.9

De seguida mostra-se a energia requerida para várias áreas envidraçadas, tipos de vidro, renovações de ar para o edifício padrão:

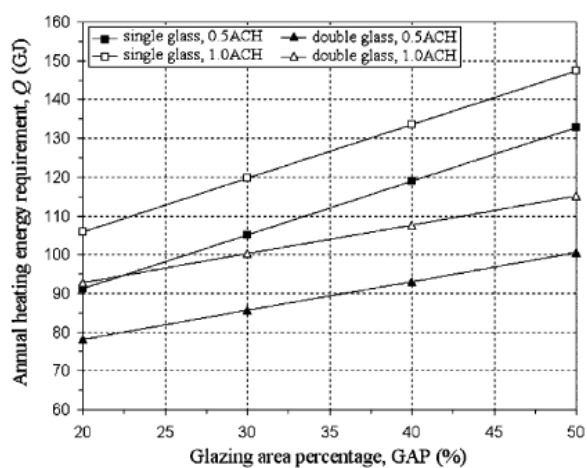


Figura 18 - Energia requerida para várias áreas envidraçadas, tipos de vidros e renovações de ar [10].

De seguida mostra-se o custo anual de energia para o edifício padrão considerando diferentes formas de energia:

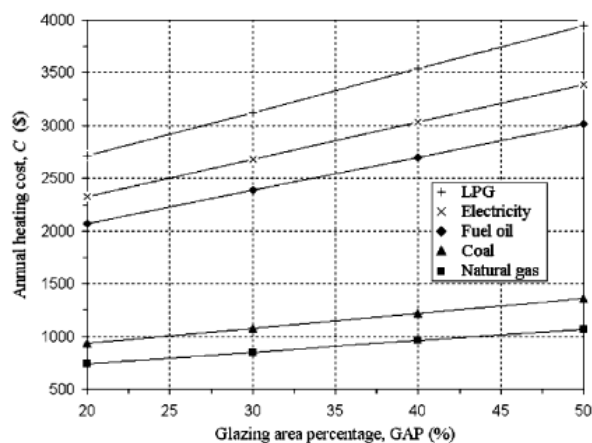


Figura 19 - Custo da energia requerida para várias áreas envidraçadas e combustíveis (vidro simples, $I = 0.5$ ACH) [10].

Os custos totais do edifício padrão (vidro simples, GAP = 20%, $I = 0.5$ ACH), como mostram as seguintes figuras, são mínimos quando se encontra a espessura óptima de isolamento térmico.

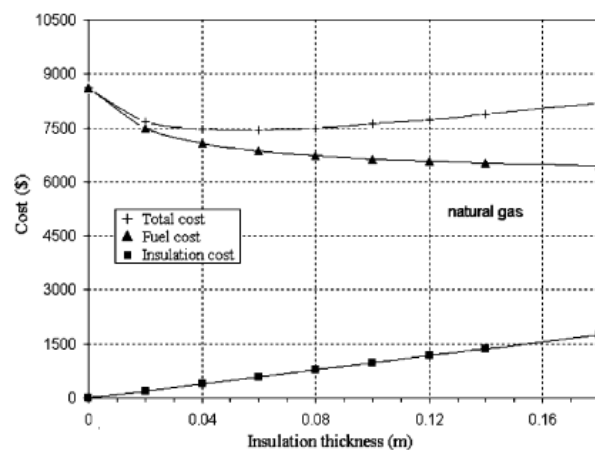


Figura 20 - Custos no tempo de vida do projecto para várias espessuras de isolamento tomando o gás natural como combustível [10].

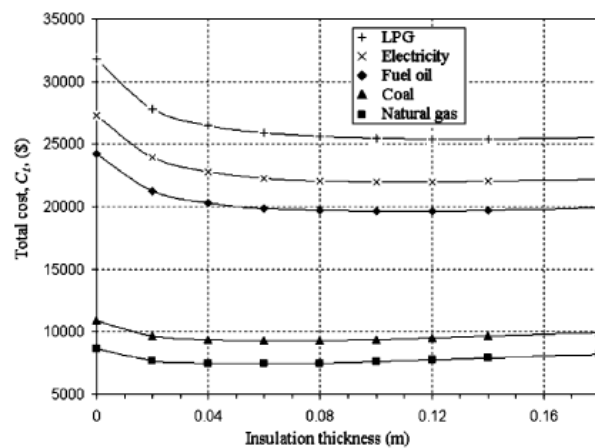


Figura 21 - Custos totais variando a espessura de isolamento para cada combustível [10].

De seguida, na seguinte figura, vê-se o comportamento da espessura de isolamento óptima com a condutividade térmica do isolamento. Vê-se que a espessura é maior para valores de condutibilidade maiores.

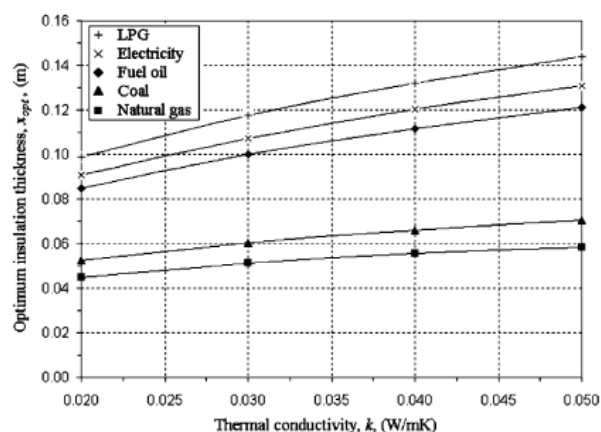


Figura 22 - Espessura de isolamento óptima variando a condutividade térmica para os vários tipos de combustível. (Graus - dias = 45113.2) [10].

Na seguinte figura, vê-se o comportamento da espessura óptima de isolamento térmico com o valor de graus dias. Vê-se que a espessura é maior para valores de graus dias maiores.

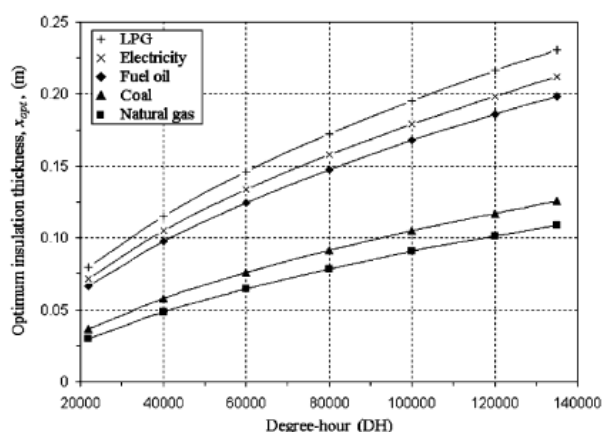


Figura 23 - Espessura óptima de isolamento variando o valor de graus - dias para vários tipos de combustível ($k=0.034$ W m K) [10].

2.4 Aspectos importantes no Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE - DL 80/2006)

O novo RCCTE [2] estabelece um método de calcular as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Estabelece também requisitos mínimos de qualidade térmica nos edifícios e necessidades máximas de necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento. De seguida mostra-se os aspectos que serão importantes na realização deste trabalho.

(Artigo 4)

Índices térmicos

(Ni) -Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

(Nv) - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

Parâmetros complementares:

Os coeficientes de transferência térmica (envolvente)

A classe de inércia térmica do edifício

O factor solar dos vãos envidraçados

Taxa de renovações de ar

(artigo 14)

Condições interiores de referência:

20°C para a estação de aquecimento

25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento

0.6 Renovações de ar por hora (mínimo)

(Artigo 15)

Estação convencional de aquecimento é entre o primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro, temperatura média diária inferior a 15°C e o último decêndio anterior a 31 de Maio em que a temperatura seja inferior a 15°C. Estação convencional de arrefecimento é nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro.

Necessidades máximas de energia

Tabela 2

Necessidades nominais de aquecimento (valores máximos)

FF	Ni (KWh/m ² ano)
$\leq 0,5$	$4,5+0,0395GD$
$0,5 < FF \leq 1$	$4,5+(0,021+0,037FF) GD$
$1 < FF \leq 1,5$	$[4,5+(0,021+0,037FF) GD] (1,2-0,2FF)$
$FF > 1,5$	$4,05+0,06885GD$

Em que GD significa Graus-dias de aquecimento e FF factor de forma.

Tabela 3
Necessidades nominais de arrefecimento (KWh/m²ano)

Nv (KWh/m ² ano)		
Zona	Norte	Sul
V1	16	22
V2	18	32
V3	26	32
Açores	21	21
Madeira	23	23

Inércia térmica de um edifício

Depende principalmente da massa superficial útil M_{si} .

EL1 - Elemento da envolvente exterior.

- a) Se não possuir isolamento térmico contabiliza-se metade da sua massa total.
- b) Se possuir isolamento térmico com resistência térmica superior a $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ considera-se a massa interior apenas.
- c) M_{si} nunca pode ser superior a $150 \text{ Kg}/\text{m}^2$.

EL2 – Elementos em contacto com o solo.

- a) Se não possuírem isolamento térmico $M_{si} = 150 \text{ Kg}/\text{m}^2$.
- b) Se possuírem isolamento só se considera a massa interior ao isolante.

EL3 – Elementos interiores (Pavimentos e paredes interiores)

Considera-se toda a massa com limite até $300 \text{ Kg}/\text{m}^2$.

Cálculo da inércia:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \quad (46)$$

Onde S_i é a área da superfície interior do elemento (m^2) e A_p é a área útil de pavimento.

Propriedades de clima local

Anexo III (pág. 2475-2484)

Metodologia de cálculo das necessidades de aquecimento Nic (KWh/m²ano)

- 1) Perdas de calor através da envolvente (Qt)
- 2) Perdas de calor resultantes das renovações de ar (Qv)
- 3) Ganhos de calor (Qgu)
 - a. Iluminação, equipamentos
 - b. Ocupação
 - c. Ganhos solares

$$Nic = (Qt + Qv - Qgu) / A_p \quad (47)$$

Onde A_p é a área de pavimento

1) Perdas a partir da envolvente

$$Qt = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad (48)$$

Troca de calor com exterior

$$Q_{ext} = 0,024 \cdot U \cdot A \cdot GD \text{ (KWh)} \quad (49)$$

Troca de calor com espaços não aquecidos

$$Q_{lna} = 0,024 \cdot U \cdot A \cdot GD \cdot \tau \text{ (KWh)} \quad (50)$$

Troca de calor com o solo

$$Q_{pe} = 0,024 \cdot L_{pe} \cdot GD \text{ (KWh)} \quad (51)$$

$$L_{pe} = \sum \psi_j \cdot B_j \quad (52)$$

- ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear em W/m.°C

- B_j é o perímetro do pavimento

Perdas térmicas lineares

$$Q_{pt} = 0,024 \cdot L_{pt} \cdot GD \text{ (KWh)} \quad (53)$$

$$L_{pt} = \sum \psi_j \cdot B_j \quad (54)$$

- ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear em W/m.°C (tabela IV.2)

- B_j é o comprimento da ponte térmica

2) Renovações de ar

Normal

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \text{ (KWh)} \quad (55)$$

Mecânicos

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \cdot (1-\eta) \text{ (KWh)} \quad (56)$$

Onde R_{ph} = Renovações de ar por hora Segundo o quadro IV.1, P_d é o pé direito do edifício (m), η é a eficiência do sistema de ventilação

3) Ganhos térmicos úteis

Q_i - Ganhos térmicos associados às fontes internas de calor

$$Q_i = q_i \cdot M \cdot A_p \cdot 0,720 \text{ (KWh)} \quad (57)$$

Onde q_i está presente no quadro IV.3 que depende de cada utilização do edifício. M é a duração média da estação de aquecimento em meses.

Q_s - Ganhos pelo aproveitamento solar

$$Q_s = G_{sul} \sum_j \left[X_j \sum_n A_{snj} \right] M \text{ (KWh)} \quad (58)$$

Onde G_{sul} é o valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante a estação de aquecimento (anexo III). X_j é o factor de orientação para as diferentes exposições (quadro IV.4). A_{snj} é a área efectiva colectora da radiação solar na superfície n com a orientação j . A_s pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$A_s = A \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g \quad (59)$$

Onde A é a área do vão envidraçado, F_s é o factor de obstrução (4.3.3), F_g é a fracção envidraçada (4.3.4), F_w é o factor de correcção devido às propriedades do vidro (4.3.5) e g é o factor solar do vão envidraçado (4.3.2).

Metodologia de cálculo das necessidades de arrefecimento N_{vc} (KWh/m²ano)

Como a temperatura do interior de referência é de 25°C e a temperatura média exterior na estação convencional de arrefecimento presente no anexo III nunca é superior a esse valor tudo se pode considerar como perdas excepto os ganhos pela envolvente e pelos envidraçados.

Ganhos pela envolvente:

$$Q1=2,928.U.A.(\theta_m - \theta_i) + U.A.\left(\frac{\alpha I_r}{h_e}\right) (KWh) \quad (60)$$

Onde θ_m é a temperatura média do ar exterior (anexo III), α é coeficiente de absorção para a radiação solar (quadro V.5), I_r é a intensidade média de radiação total incidente em cada orientação na estação de arrefecimento (anexo III) e h_e é condutância térmica superficial externa do elemento da envolvente que toma o valor de $25W/m^2.^{\circ}C$.

Ganhos pelos vãos envidraçados

Aplica-se a mesma metodologia que se aplicou no caso de aquecimento com excepção do seguinte:

$$Q2 = \sum_j \left[I_{rj} \sum_n A_{snj} \right] \quad (61)$$

E o valor de F_h (factor do horizonte) toma o valor de 1.

Perdas por ventilação:

$$Q3=2,928 (0,34.R_{ph}.A_p.P_d) (\theta_m - \theta_i) (KWh) \quad (62)$$

Cargas internas:

$$Q4=2,928.q_i.A_p (KWh) \quad (63)$$

2.5 Conclusão

Com esta análise bibliográfica, pode-se afirmar que a forma do edifício de referência deve ser utilizada preferencialmente nas zonas de clima frio para que não exista o problema de não ser possível a aplicação do coeficiente de transmissão de calor revisto, dado que este valor poderá ser baixo demais. A espessura óptima de isolamento térmico depende do custo do próprio isolamento, do custo da energia, das cargas térmicas a que o edifício está sujeito, eficiência do sistema de aquecimento, COP do sistema de arrefecimento, tempo de vida do edifício e das taxas de inflação e de juro correntes. Também se pode ver pelos gráficos que os vidros simples têm uma taxa de crescimento de energia requerida para o aquecimento superior quando se varia a área envidraçada. Também se vê que variando a condutibilidade térmica, a espessura óptima não varia da mesma maneira dado que o coeficiente de transferência de calor também não varia linearmente.

3. Modelos e métodos

3.1 Sumário

Os Modelos e métodos utilizados neste trabalho serão semelhantes aos que foram enunciados na pesquisa bibliográfica. A algumas fórmulas foram acrescentados parâmetros para considerar mais factores. Também foram desenvolvidas fórmulas com o intuito de desaprovar aspectos que se pensavam que estariam relacionados.

3.2 Método de análise económica de ciclo de vida

A análise económica utilizada de ciclo de vida (LCCA-life cycle cost analysis) tomou em conta o PWF (present worth factor) [11]. O valor de PWF fornece o valor equivalente de anos a multiplicar ao custo anual de energia para obter o custo de energia no ciclo de vida. Este factor depende do número de anos de ciclo de vida (o tempo de utilidade do projecto), da taxa de juro e da taxa de inflação.

O valor para PWF é definido como se indica abaixo:

Tomando i como a taxa de juro e g como a taxa de inflação temos:

$$r = \begin{cases} \frac{i - g}{1 + g}, & \text{se } i > g \\ \frac{g - i}{1 + i}, & \text{se } i < g \end{cases} \quad (64)$$

$$PWF = \frac{(1 + r)^N - 1}{r(1 + r)^N} \quad (65)$$

Onde N é o tempo de vida do projecto.

Se $i=g$ então:

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (66)$$

3.2.1 Custos totais mínimos no tempo de ciclo de vida de uma superfície da envolvente opaca

O custo anual de energia por unidade de área (€/m^2) de envolvente opaca será definido como:

$$C_A = \frac{86400 U DD C_F}{H_u \eta} \quad (67)$$

Simplificando:

$$C_A = \frac{86400 DD C_F}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} \quad (68)$$

Onde DD é o número de graus - dias de aquecimento, η é o rendimento do sistema de aquecimento, C_F é o custo de combustível em €/quantidade e H_u é o poder calorífico inferior em J/quantidade (Quantidade que poderá ser litros, m³, Kg de entre outros conforme o tipo de combustível). R_{wt} (m².°C/W) será a resistência térmica de toda a parede sem isolamento térmico, x (m) e k (W/m.°C) são a espessura e a condutividade térmica do isolamento térmico respectivamente. Ao custo de combustível C_F poderá estar associado um custo fixo que geralmente é mensal não dependente do consumo, logo não se colocou nas fórmulas anteriores pois estas são em unidades de €/m². O valor de 86400 (24×3600) é um valor apenas para passar de graus - dias para graus - segundo para que as unidades fiquem coerentes.

Assim o custo de energia por unidade de área (€/m²) no tempo do ciclo de vida é dado pela seguinte expressão:

$$C_A = \frac{86400 DD C_F PWF}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} \quad (69)$$

Os custos totais (€/m²), ou seja, o custo de energia no ciclo de vida mais o custo do isolamento térmico são dados pela seguinte fórmula:

$$C_T = \frac{86400 DD C_F PWF}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right) H_u \eta} + C_{iso} x + C_{MO} \quad (70)$$

Em que C_{iso} será o custo do isolamento em €/m³, x será a espessura de isolamento (m) e C_{MO} será o custo de mão de obra por unidade de área (€/m²) para a aplicação do isolamento.

O resultado que se pretende com a aplicação de isolamento óptimo na envolvente de um edifício é de tornar mínimo o valor dos custos totais do ciclo de vida. Ao derivar a anterior equação em ordem à variável x obtém-se a espessura económica de isolamento (m) presente na seguinte fórmula:

$$x_{opt} = \left(\frac{86400 DD C_F PWF k}{H_u C_{iso} \eta} \right)^{1/2} - R_{wt} k \quad (71)$$

Tinha-se a percepção que a espessura óptima de isolamento térmico dependeria de mais factores do que os presentes na fórmula (71), como por exemplo área envidraçada, renovações de ar, tipo de vidros utilizados e mais factores. Tendo esta ideia, realizou-se o cálculo dos custos totais de um edifício padrão com área envidraçada e renovações de ar definidas. Calculou-se para todo o edifício o consumo energético considerando todos os factores e variações em todos eles

para ver se o isolamento óptimo era dependente de mais variáveis do que as presentes na fórmula (71).

3.2.2 Custos totais mínimos no tempo de ciclo de vida de um edifício padrão

Existe uma espessura de isolamento que minimiza os custos totais do ciclo de vida. De seguida mostra demonstra-se o método para a sua determinação.

3.2.2.1 Espessura óptima que minimiza os custos totais de um edifício

Para calcular o consumo total de energia de um edifício tem-se que calcular o coeficiente global de transmissão de calor para todo o edifício. Este coeficiente depende de toda a envolvente opaca, envidraçada e das renovações de ar do edifício.

O coeficiente global de transferência de calor L ($W/^\circ C$) é dado por:

$$L = \sum_{i=1}^M UA + \frac{I(\rho c_p)_{air} V}{3600} \quad (72)$$

Onde M representa as zonas onde a perda de calor existe (i.e. paredes externas, janelas, cobertura e pavimento), U ($W/m^2^\circ C$) e A (m^2) são o coeficiente de transmissão de calor e a área de cada zona respectivamente. $(\rho c_p)_{air}$ é a capacidade térmica volumétrica do ar e é tomado como $1200 J/m^3^\circ C$ ($15^\circ C$), V é o volume do edifício (m^3) e I é o valor das renovações de ar por hora.

O custo do consumo anual de energia (€/ano) do edifício será dado pela seguinte fórmula:

$$C_A = \frac{86400 L DD C_F}{H_u \eta} + T_F \quad (73)$$

Em que T_F (€/ano) será a tarifa fixa anual equivalente do que se paga mensalmente pela utilização de algumas formas de energia como por exemplo, gás natural canalizado, propano canalizado e electricidade. Esta tarifa não depende da variação do consumo.

Os custos totais (€) no tempo do ciclo de vida são dados pela seguinte expressão:

$$C_T = \left(\frac{86400 L DD C_F}{H_u \eta} + T_F \right) PWF + C_{iso} A_w x + \sum_{i=1}^n C_{iso} A_n x_n + \sum_{i=1}^k A_k C_{MO} \quad (74)$$

Em que A_w é a área da parede (m^2) onde se colocaria o isolamento óptimo, x é a espessura de isolamento na parede (m), A_n e x_n serão as áreas e espessuras respectivamente das restantes superfícies opacas com troca de calor. A_k serão todas as áreas de troca de calor com isolamento sujeitas a custo de mão de obra para a colocação de isolamento.

Não se consegue determinar todos os isolamentos óptimos de uma só vez porque as resistências térmicas totais sem isolamento (R_{wt}) são diferentes, logo tem-se que calcular separadamente para cada envolvente com características iguais. Desta forma foi calculado o isolamento óptimo para a cobertura e pavimento a partir da fórmula (71) e este isolamento foi considerado na fórmula (72) e (74) e calculado o isolamento óptimo para a parede dupla. Assim calcula-se o isolamento óptimo para a parede considerando todos os factores que influenciam o consumo de um edifício.

Como foi dito em cima, a aplicação de isolamento óptimo na envolvente de um edifício tem como finalidade tornar mínimo o valor dos custos totais do ciclo de vida. Ao derivar a equação (74) em ordem à variável x (espessura de isolamento), obtém-se a espessura económica de isolamento. De seguida, mostra-se o cálculo da espessura óptima de isolamento considerando todo o edifício.

Partindo da fórmula (72), o coeficiente global de transferência de calor L (W/C°) para o edifício será:

$$L = U_w A_w + U_v A_v + U_c A_c + U_p \tau A_p + \frac{I V}{3} \quad (75)$$

Onde U_w trata-se do coeficiente de transmissão de calor da parede, A_w é a área da parede, U_v é o coeficiente de transmissão de calor dos envidraçados, A_v é a área dos envidraçados, U_c é o coeficiente de transmissão de calor da cobertura, A_c é a área de cobertura, U_p é o coeficiente de transmissão de calor do pavimento e A_p é a área de pavimento e τ é o factor multiplicativo que torna a área que não está em contacto com o exterior numa área equivalente em contacto com o exterior isto para o caso do pavimento não estar em contacto directo com o solo.

Olhando para a fórmula do factor de forma:

$$FF = \frac{A_E}{V} \quad (76)$$

Em que A_E trata-se da área equivalente de troca de calor com o exterior. Equivalente porque em envolventes que não estejam em contacto directo com o exterior têm que ser multiplicadas por um factor (τ) para serem consideradas como área exterior de troca de calor.

A área da parede A_w será, então, a área total equivalente A_E menos as restantes áreas excluindo a A_w . Considerando isto o coeficiente de transmissão de calor L (W/m²) é escrito da seguinte forma:

$$L = \frac{1}{R_{wt} + \frac{x}{k}} (A_E - A_p - A_v - A_c) + U_v A_v + U_c A_c + U_p \tau A_p + \frac{I V}{3} \quad (77)$$

Para calcular a espessura de isolamento óptima deriva-se a fórmula (74) em ordem à espessura de isolamento da parede (x) tomando L como a fórmula (77). Obtém-se o seguinte resultado:

$$\frac{\partial C_T}{\partial x} = \frac{PWF \ 86400 \ DD \ C_F}{\eta \ H_u} \frac{\partial L}{\partial x} + C_{iso} \ A_w \quad (78)$$

Onde:

$$\frac{\partial L}{\partial x} = \frac{-\frac{1}{k}(A_E - A_p - A_v - A_c)}{\left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right)^2} \quad (79)$$

Onde:

$$A_w = (A_E - A_p - A_v - A_c) \quad (80)$$

Substituindo a fórmula (80) na fórmula (79) e esta na (78) chega-se à fórmula final que se mostra a seguir:

$$\frac{\partial C_T}{\partial x} = -\frac{PWF \ 86400 \ DD \ C_F \ A_w}{\eta \ H_u \ k \left(R_{wt} + \frac{x}{k}\right)^2} + C_{iso} \ A_w \quad (81)$$

Igualando a fórmula (81) a zero obtém-se a espessura económica de isolamento térmico (m):

$$x_{opt} = \left(\frac{86400 \ DD \ C_F \ PWF \ k}{H_u \ C_{iso} \ \eta}\right)^{1/2} - R_{wt} \ k \quad (82)$$

Como se pode ver pela equação acima, chegou-se à mesma fórmula para o cálculo da espessura óptima de isolamento térmico (71). Tinha-se a ideia que a espessura de isolamento térmico dependeria de mais factores relacionados com a construção do edifício.

Com a ideia de que poderia ser possível compensar as perdas térmicas de um edifício com elevada área envidraçada ou com vidro simples, com a aplicação de mais isolamento e que fosse ainda economicamente viável, foi calculado o coeficiente de transmissão de calor global L (W/°C) óptimo para um edifício genérico.

3.2.2.2 Coeficiente de transmissão de calor óptimo L (W/°C) que minimiza os custos totais de um edifício

Para a determinação do coeficiente de transmissão de calor óptimo para um edifício (W/°C), derivou-se a fórmula dos custos totais em ordem a L para obter o L mínimo como se mostra nas seguintes fórmulas:

$$\frac{\partial C_T}{\partial L} = \frac{\partial}{\partial L} \left[\left(\frac{86400 L DD C_F}{H_u \eta} + T_F \right) PWF + C_{iso} A_w x + \sum_{i=1}^n C_{iso} A_n x_n + \sum_{i=1}^k A_k C_{MO} \right] \quad (83)$$

\Leftrightarrow

$$\frac{\partial C_T}{\partial L} = \frac{PWF 86400 DD C_F}{\eta H_u} + C_{iso} A_w \frac{\partial x}{\partial L} \quad (84)$$

Em que x , espessura de isolamento térmico, é dado pela seguinte expressão:

$$x = \frac{A_w k}{L - \frac{IV}{3} - A_v U_v - U_p A_p - U_c A_c} - R_{wt} k \quad (85)$$

E a derivada de x em ordem a L é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{\partial x}{\partial L} = - \frac{A_w k}{\left(L - \frac{IV}{3} - A_v U_v - U_p A_p - U_c A_c \right)^2} \quad (86)$$

Substituindo a fórmula (86), na fórmula (84), tem-se como resultado a seguinte expressão:

$$\frac{\partial C_T}{\partial L} = \frac{PWF 86400 DD C_F}{\eta H_u} - \frac{C_{iso} A_w^2 k}{\left(L - \frac{IV}{3} - A_v U_v - U_p A_p - U_c A_c \right)^2} \quad (87)$$

Igualando a zero a fórmula (87), obtém-se o valor mínimo de L que minimiza os custos totais:

$$0 = \frac{PWF 86400 DD C_F}{\eta H_u} - \frac{C_{iso} A_w^2 k}{\left(L - \frac{IV}{3} - A_v U_v - U_p A_p - U_c A_c \right)^2} \quad (88)$$

Simplificando a expressão anterior (88), chega-se à seguinte expressão que será o L óptimo (W/C°) para um edifício:

$$L_{opt} = A_w \sqrt{\frac{\eta H_u C_{iso} k}{86400 DD C_F PWF}} + A_v U_v + U_p A_p + U_c A_c + \frac{I V}{3} \quad (89)$$

Como se pode ver na fórmula acima, o coeficiente de transmissão de calor óptimo ($W/m^2.C^\circ$) para a parede será dado pela seguinte fórmula:

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{\eta H_u C_{iso} k}{86400 DD C_F PWF}} \quad (90)$$

3.2.2.3 Verificação do método proposto

Para saber se realmente é possível compensar com isolamento grandes áreas envidraçadas e que seja ainda economicamente viável foram calculados os custos totais para dois edifícios exactamente iguais só que com áreas envidraçadas diferentes.

3.2.2.3.1 Definição do edifício padrão

Na definição do edifício padrão tentou-se escolher aspectos construtivos que fossem mais comuns em Portugal como é o caso do uso de parede dupla, do pavimento sem contacto directo com o solo e desvão não habitado.

O edifício padrão tem como área de pavimento $100 m^2$ que corresponde mais ou menos à área de um T2, tem como pé direito $2,70 m$, área envidraçada média de 20% da área da envolvente exterior do edifício e factor de forma igual a um. Foi escolhido este valor para o factor de forma porque é o valor que não é penalizado sem comprometer a arquitectura do edifício. É um valor que nem é muito penalizado nem é desprezado. Ou seja, bom era ter um edifício com factor de forma menor ou igual que 0,5 mas este edifício do ponto de vista arquitectónico não terá a mesma liberdade de formas que um edifício com factor de forma de valor superior.

Considerando o que se disse em cima:

$$FF = 1$$

$$V = 270 m^3$$

Logo a área equivalente de troca de calor será:

$$A_E = 270 m^2$$

Foi considerado que este edifício tem parede dupla com caixa-de-ar com tipologia de tijolo furado 15mm exterior e de tijolo furado de 11 mm para o interior [12]. O pavimento foi considerado como sendo uma laje aligeirada de blocos cerâmicos de espessura de 0,33 a 0,35m com fluxo de calor descendente e sem contacto com o solo [12]. A cobertura foi considerada como sendo uma cobertura inclinada com desvão ventilado sobre esteira horizontal não habitável com laje aligeirada de blocos cerâmicos de espessura de 0,13 a 0,15m com fluxo de calor ascendente [12]. Os envidraçados quanto ao tipo de vão são simples, foram considerados de caixilharia de pvc com oclusão nocturna com baixa permeabilidade ao ar. No caso do vidro duplo, foi considerado que a espessura da lâmina de ar é de 16mm [12]. O isolamento térmico escolhido foi poliestireno extrudido (XPS) da marca iberfibran [22].

3.2.2.3.2 Análise do método proposto

Por exemplo, considerou-se que o edifício padrão em vez de 20% de área envidraçada teria agora 25%. É possível compensar a perda pelo acréscimo de área de envidraçados com aplicação de mais isolamento. É possível que o edifício de 25% de área envidraçada com mais isolamento consiga ter o mesmo valor de coeficiente global de transmissão de calor L (W/°C) que o edifício de 20%. Os coeficientes óptimos, os custos totais para os vários tipos de energia e os valores das espessuras de isolamento presentes nas seguintes tabelas foram calculados para o concelho de Mira (1500 Graus - Dias), com vidro duplo e com renovações de ar de valor 1/h.

Tabela 4

Coeficientes globais de transmissão de calor óptimos para os dois edifícios

Coeficiente global de transmissão de calor óptimo L_{opt} (W/°C)								
Área envidraçada	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
20%	201,9	191,2	221,8	191,1	188,5	226,7	215,8	199,0
25%	211,0	200,6	230,5	200,5	197,9	235,3	224,6	208,2

Tabela 5

Custos totais do edifício com L óptimo e com L de 20% de área envidraçada

Custos totais (€) para o edifício de 25% área envidraçada								
Espessura de isolamento	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Óptima	17398	22466	12394	22403	24013	11153	13307	20410
Compensada	17885	23438	12577	23381	25208	11303	13546	20985

Tabela 6

Espessuras de isolamento térmico do edifício de 25% de área envidraçada com L óptimo e com L do edifício de 20% de área envidraçada

Espessuras de isolamento (m) o edifício de 25% área envidraçada								
Espessura de isolamento	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Óptimo	0,091	0,114	0,063	0,115	0,122	0,058	0,070	0,097
Compensada	0,190	0,282	0,111	0,283	0,318	0,099	0,128	0,209

Como se pode ver pela tabela 5 anterior, os custos totais do edifício de 25% de área envidraçada com uma espessura de isolamento compensada relativamente ao isolamento óptimo são superiores aos custos totais do edifício com o isolamento óptimo calculado a partir da fórmula (82). É possível obter o mesmo consumo de um edifício com 20% de área envidraçada mas os custos que se poupam em energia não chegam para compensar o grande acréscimo de custos iniciais, devido a uma espessura de isolamento muito maior que a espessura económica. Esta diferença de espessura, deve-se ao comportamento do coeficiente global de transmissão de calor L ($W/^{\circ}C$) com o aumento da espessura de isolamento. O comportamento do coeficiente não é linear como se pode ver pelo seguinte gráfico que mostra a evolução do coeficiente de transmissão de calor L com a espessura de isolamento térmico na parede (área envidraçada de 20%, vidro duplo, renovação de ar de 1/h, cobertura e pavimento com isolamento económico):

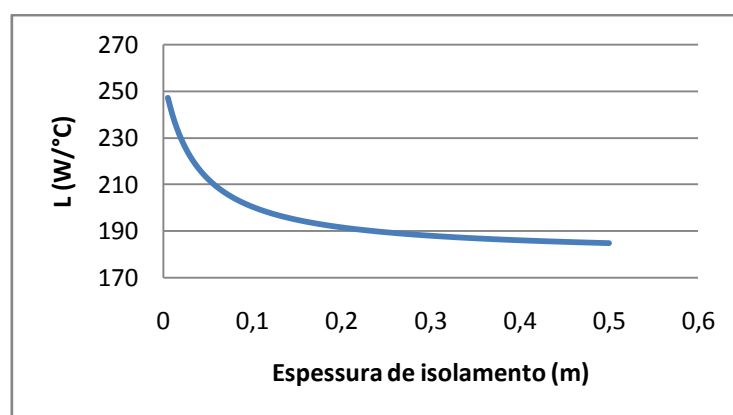


Figura 24 - Evolução do coeficiente global de transmissão de calor L ($W/^{\circ}C$) com a espessura de isolamento térmico.

3.3 Conclusão

Quando já se tem uma espessura elevada de isolamento térmico, torna-se difícil baixar o coeficiente global de transmissão de calor aumentando a espessura de isolamento. É devido a este aspecto que não adianta compensar as perdas energéticas de grandes áreas envidraçadas dado que é necessário aumentar muito a espessura para obter resultados.

Partindo do que se provou em cima, a espessura de isolamento térmico (m) apenas depende dos factores enunciados na fórmula (82).

E o coeficiente de transferência de calor óptimo (W/m^2C°) para a zona opaca depende apenas dos factores enunciados na fórmula (90).

4. Caso de estudo

4.1 Sumário

O caso de estudo subdivide-se em duas partes. A determinação do nível de isolamento térmico económico para as várias zonas climáticas de Portugal e a análise comparativa de softwares de verificação térmica disponíveis gratuitamente. Na análise do nível óptimo de isolamento térmico, foi considerado um edifício padrão que foi analisado em condições climáticas específicas para obter o nível de isolamento nas diferentes regiões de Portugal. Na análise comparativa dos softwares de verificação térmica disponíveis gratuitamente, também foi definida uma situação padrão para comparar os softwares e tentar descobrir a origem das diferenças entre eles.

4.2 Análise do nível económico de isolamento térmico nos edifícios residenciais em Portugal

Tinha-se a necessidade de escolher locais para o estudo do isolamento óptimo em Portugal. Foram então escolhidos três concelhos que serão como que os concelhos representativos de cada região climática.

Antes da escolha dos concelhos tinha-se a necessidade de saber se era necessário em algum concelho calcular o isolamento óptimo com dados de verão. Ou seja, tinha-se de verificar se as necessidades energéticas de um mesmo edifício no verão eram superiores às de inverno no concelho mais quente de Portugal. Neste caso teria mais sentido o cálculo do isolamento óptimo para a estação de arrefecimento.

4.2.1 Comparação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de um edifício

Existem três zonas climáticas de inverno e três zonas climáticas de verão:

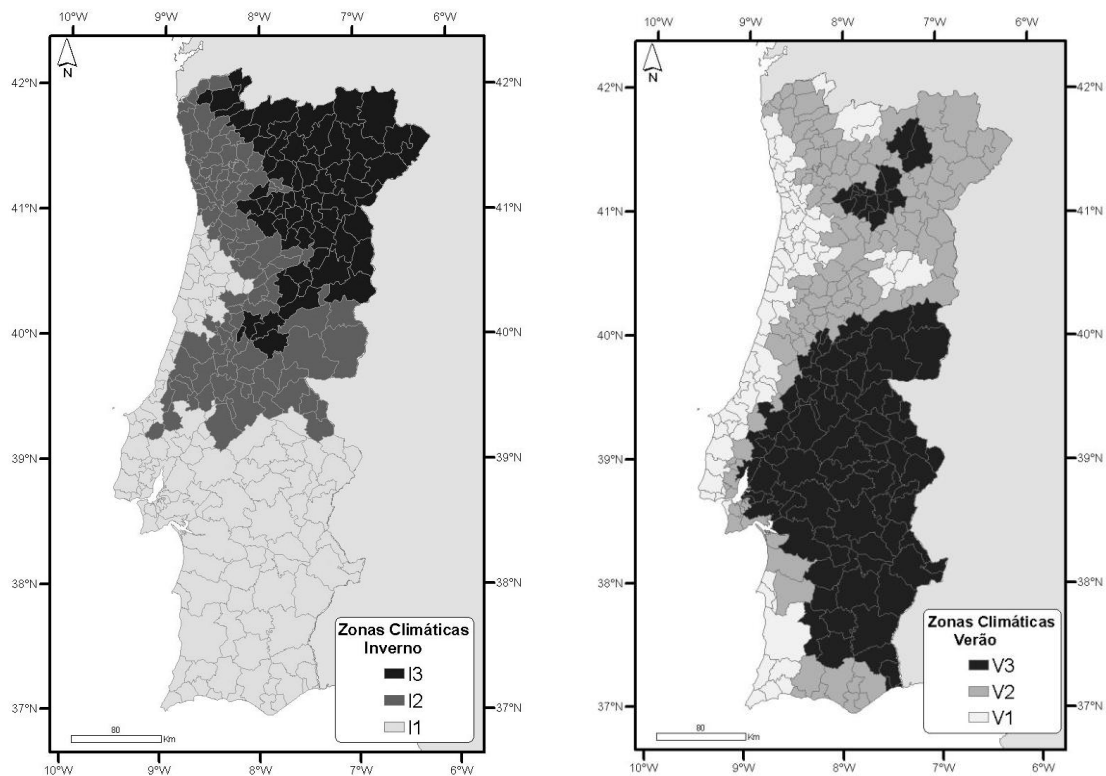


Figura 25 - Zonas climáticas de inverno e verão para Portugal continental. [2]

Foram calculadas as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento para o concelho que pertencesse à zona climática de inverno I1 e de verão V3 que apresenta-se menor número de graus - dias. Neste concelho o inverno é ameno e o verão é quente. Logo, existe um consumo baixo no inverno e alto no verão comparativamente aos restantes concelhos do país. O concelho com menor número de graus dias e pertencente simultaneamente à zona climática I1 e V3 é Vila Real de Santo António. Tem 1060 graus - dias e 4,3 meses de duração da época de aquecimento. Foi realizada uma simulação térmica das necessidades energéticas do edifício padrão enunciado em (3.2.2.3.1). O software utilizado foi o EPS DL 80 da ACEPE e foram obtidos os seguintes valores de necessidades energéticas: 46,96 KWh/m².ano para aquecimento e 26,17 KWh/m².ano para arrefecimento. Neste concelho as necessidades de verão são menores que as necessidades de inverno o mesmo se pode considerar para todo o país. Todos os resultados desta simulação encontram-se nos anexos.

4.2.2 Definição dos locais de estudo

O estudo incidiu nas três regiões de severidade de aquecimento, ou seja, regiões I1, I2 e I3. Em cada região existem valores díspares de graus - dias. Foi escolhido o concelho que apresentasse os valores maiores de graus - dias para cada região. Existindo valores iguais foi escolhido o concelho que tivesse uma duração mais longa da época de aquecimento. Os concelhos escolhidos estão representados na seguinte tabela:

Tabela 7

Concelhos escolhidos para o estudo da espessura óptima de isolamento térmico

Zona climática inverno	Concelho	Número de Graus - dias	Duração da estação de aquecimento	Zona climática de verão	Temperatura externa do projecto	Amplitude térmica
I1	Mira	1500	7 Meses	V1	29	10
I2	Vale de Cambra	2100	7 Meses	V1	31	12
I3	Manteigas	3000	8 Meses	V1	30	12

4.2.3 Valores necessários para o cálculo do nível de isolamento térmico.

Para o cálculo do nível de isolamento óptimo foi necessário encontrar os factores presentes nas fórmulas enunciadas no capítulo 3. Na seguinte tabela estão representados os valores e as características dos combustíveis que se consideraram neste trabalho. Estes valores foram retirados das referências [13] a [21]. As eficiências são as que se encontram no RCCTE (DL 80/2006) na pág. 2475 como as eficiências padrão [2].

Tabela 8

Valores dos parâmetros relativos aos combustíveis usados nos cálculos.

Combustível	Unidades	PCI (J/unidade)	Preço (€/unidade)	Rendimento (%)
Diesel aquecimento	L	39146580	0,916	80
Propano canalizado	Kg	46347880	1,64	87
Gás natural canalizado	m ³	37907290	0,5841	87
Butano garrafa (13kg)	Kg	45636120	1,62	87
Propano garrafa (45kg)	Kg	46347880	1,8	87
Lenha	Kg	10467000	0,1	60
Pellets	Kg	18840600	0,23	60
Electricidade	KWh	3,60E+06	0,1143	100

Nas seguintes tabelas (tabela 9 e 10) estão representadas as resistências térmicas e coeficientes de transmissão de calor respectivamente das envolventes sem isolamento

Tabela 9

Resistências térmicas das envolventes sem isolamento térmico. [12]

Resistência térmica sem isolamento térmico (R_{WT})	R_{WT} (m^2C/W)
Cobertura	0,3571
Pavimento	0,7143
Parede dupla	1,0417

Tabela 10

Coeficientes de transmissão de calor das superfícies em contacto com o exterior sem isolamento térmico. [12]

Coeficientes de transmissão de calor (U)	U (W/m^2C)
Cobertura	2,8
Pavimento	1,4
Parede dupla	0,96
Vidro duplo	2,1
Vidro simples	3,3

Na seguinte tabela estão representadas as características do isolamento térmico.

Tabela 11

Características do isolamento escolhido. [22]

Isolamento térmico XPS Iberfibran	
Preço ($€/m^3$)	131
Condutibilidade térmica k (W/m^2C)	0,036
Custo de mão-de-obra (aplicação) ($€/m^2$)	2,953

Na seguinte tabela estão representados os valores necessários à análise económica de ciclo de vida.

Tabela 12

Valores referentes à análise económica de ciclo de vida. [23] a [24]

Análise económica de ciclo de vida (LCCA-life cycle cost analysis)	
Taxa de Juro Euribor	4,825
Taxa de inflação	2,5
r	0,022683
PWF (20 anos)	15,936
PWF (40 anos)	26,111

Tabela 13

Tarifas anuais fixas de exploração de energia (não dependem do consumo) [25] a [26]

Forma de energia sujeita a tarifa fixa	€/ano
Gás natural canalizado	22,44
Propano Canalizado	7,44
Electricidade	119,52

No cálculo dos custos fixos do gás natural, propano canalizado e electricidade foi considerado que o consumo era dividido pelas três formas de consumo energético existentes na habitação, ou seja, climatização, cozinha e aquecimento de água quente sanitária. Para contabilizar apenas a parte de climatização, nos cálculos no caso do gás natural foi descontada à tarifa de AQS, cozinha e climatização (6,47€/mês) a tarifa de AQS e cozinha (4,60€/mês) resultando assim num custo mensal fixo de 1,87 € apenas para climatização. No caso do propano canalizado trata-se de uma tarifa mensal fixa de 2,48€ para consumos superiores a 60m³ e de 2,88€ para consumos inferiores a 60m³. Foi considerado que para a utilização de aquecimento central o consumo é superior a 60 m³. A energia gasta em aquecimento é aproximadamente em média 25% da energia que se gasta num edifício. Considera-se a taxa fixa mensal afectada de 25% resultando um valor de 0,62€/mês. No caso da electricidade foi utilizado um simulador presente no site da ERSE. Primeiro foram colocados apenas os electrodomésticos mais usados e viu-se que a tarifa de 3,45 KVA (tarifa fixa de 5,74€/mês) era suficiente. Depois, também foram considerados equipamentos para climatização e viu-se que era necessária uma potência de 10,35 KVA (tarifa fixa de 15,70€/mês). Utilizando a electricidade como climatização a tarifa relativa ao uso de dispositivos de aquecimento é de 9,96€/mês. O custo da manutenção e operação anual foi desprezado. Considera-se que o custo da manutenção não depende da espessura de isolamento térmico existente no edifício.

4.2.4 Procedimento

A análise do nível de isolamento económico será realizada no edifício padrão enunciado em (3.2.2.3.1). A análise económica de ciclo de vida foi realizada para dois tempos distintos. Considerou-se dois tempos de ciclo vida de projecto, um de 20 anos e outro de 40 anos. A análise mais longa de 40 anos será definitiva, ou seja, para a vida útil da casa. A análise mais curta será para passados os 20 anos realizar outro estudo da espessura óptima de isolamento térmico com base na situação económica desse tempo para aplicar, se necessário, mais isolamento térmico exteriormente. As espessuras de isolamento económicas serão calculadas a partir da fórmula (82), os coeficientes de transmissão de calor óptimos serão calculados recorrendo a fórmula (90), o coeficiente global de transmissão de calor a partir da fórmula (77) e os custos totais do edifício serão calculados a partir da fórmula (74).

4.3 Análise comparativa de softwares de verificação térmica do RCCTE (DL 80/2006) disponíveis gratuitamente

Os dois softwares distribuídos gratuitamente são os seguintes:

EPS DL 80 (versão 4 R5 de 22/06/2007) da Associação industrial do poliestireno expandido (ACEPE) – Activação necessária

Preceram RCCTE 2007 (versão 3.2007) da Preceram indústria de construção SA – Download (link directo)

Ao iniciar ambos os programas é dito que existem novas versões. A Preceram já anunciou que em breve terá uma nova versão para download que possuirá os seguintes tipos de isolamentos:

XPS – poliestireno extrudido;

AGX – argila expandida;

EPS – poliestireno expandido;

MW – cortiça;

E terá também um Módulo de caixilharias para os envidraçados.

Quanto ao software da ACEPE, existe uma nova versão. Pediu-se esta nova versão mas não foi recebida até a conclusão deste trabalho.

Estes softwares calculam as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento segundo o procedimento adoptado no RCCTE (DL 80/2006). Consoante o clima e a geometria do edifício, estabelecem um limite máximo de necessidades energéticas. Assim, se as necessidades energéticas forem superiores ao limite não se estabelece a verificação térmica do edifício.

Para comparar os programas foi utilizada uma folha de cálculo. Esta folha de cálculo tem o nome de Vercoterm versão 2.8 (18 de Maio de 2008). Foi programada pelo professor António Raimundo (perito qualificado em RCCTE e em RSECE – Energia) docente no departamento de engenharia mecânica da universidade de Coimbra. Foi utilizada esta folha de cálculo para comparar os valores dos programas porque como estes têm materiais de isolamento predefinidos têm também valores de coeficientes de transmissão de calor U ($W/m^2\text{°C}$) diferentes. Assim só se podiam comparar separadamente. Com a folha de cálculo podemos ver todos os passos dos cálculos e ver a possível origem das diferenças de valores entre os programas e a folha de cálculo.

4.3.1 Situação padrão para comparar os softwares de verificação térmica

Foram escolhidos dois concelhos de Portugal Continental consoante o seu consumo de energia no Inverno e no Verão. Foi escolhido o concelho de Portugal que apresentasse maior consumo de energia no Inverno e o concelho que apresentasse maior consumo de energia no Verão. Realizou-se esta análise para encontrar possíveis erros no cálculo das necessidades de aquecimento N_{ic} (KWh/m² .ano) e arrefecimento N_{vc} (KWh/m² .ano). Escolheram-se os concelhos com os valores maiores de necessidades energéticas (Verão e Inverno) para que se existir alguma diferença no cálculo a propagação do erro seja mais provável. Se fosse escolhido um concelho com baixas necessidades energéticas e existisse um pequeno erro no cálculo, de certeza que não ia influenciar em muito o resultado final. Os concelhos escolhidos formam Vila Real de Santo António ($I_1 V_3$) e Manteigas ($I_3 V_1$).

Para comparar estes dois programas com a folha de cálculo, foi definida uma situação padrão. Tentou-se escolher um edifício que fosse parecido com o edifício padrão escolhido para o cálculo do isolamento óptimo e que tivesse todas as perdas térmicas possíveis para ver se existia algum erro no cálculo de alguma delas.

4.3.1.1 Situação padrão para software EPS da ACEPE

De seguida mostram – se todos os valores que se inseriram no software EPS DL 80.

Edifício residencial de inércia forte, com 100 m² de área útil de pavimento 2,7m de pé direito e 270 m³ de Volume.

Descrição do local:

Altitude:

Manteigas - 500 m de altitude.

Vila Real de Santo António - 50 m de altitude.

Cálculo do factor de forma:

Áreas exteriores:

Paredes exteriores - 80 m²

Coberturas exteriores - 20 m²

Pavimentos exteriores - 20 m²

Envidraçados exteriores - 20 m²

Áreas equivalentes ($A_{int} \times \tau$):

Paredes interiores - 24 m²

Coberturas interiores - 80 m²

Pavimentos interiores - 28 m²

Envidraçados interiores - 2,4 m²

Paredes exteriores:

Parede dupla (tijolo furado cerâmico 15 mm - 11 mm) com isolamento térmico EPS de 80 mm de espessura preenchendo parcialmente o espaço de ar.

$$U = 0,330 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Orientações:

Norte – 80 m²

Sul – 28 m²

Este – 16 m²

Oeste – 16 m²

Pavimentos em contacto com o exterior:

Laje aligeirada blocos cerâmicos com espessura de laje de 0,33 <e <0,35 m e espessura de isolamento de 100 mm.

$$U = 0,340 \text{ W/ m}^2\text{°C (fluxo descendente)}$$

$$A = 20 \text{ m}^2$$

Coberturas exteriores:

Laje aligeirada blocos cerâmicos com espessura de laje de 0,13 <e <0,15 m e espessura de isolamento de 80 mm exterior.

$$U = 0,350 \text{ (W/ m}^2\text{.°C) (fluxo ascendente)}$$

$$A = 20 \text{ m}^2$$

Paredes e pavimentos em contacto com o solo:

Parede:

Parede dupla (tijolo furado cerâmico 15 mm - 11 mm) com isolamento térmico EPS de 40 mm de espessura preenchendo parcialmente o espaço de ar.

$$U = 0,49 \text{ (W/ m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$\text{Cota Z} = -1 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 18 \text{ m}^2$$

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,30 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento:

$$\text{Cota Z} = -1 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 20 \text{ m}^2$$

Pavimento isolado

$$R_{\text{isolante}} = 1,11 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W)}$$

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 1,2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

Pontes térmicas lineares:

Fachada com pavimentos térreos:

O pavimento é isolado inferiormente e a parede dupla isolada na caixa-de-ar.

$$\text{Cota Z} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Espessura do pavimento } e_p = 0,3 \text{ m}$$

Distância entre o nível inferior do isolamento da parede e o isolamento do pavimento $D = 0,3 \text{ m}$.

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,80 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

Fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou sobre o exterior:

O pavimento é isolado inferiormente e a parede dupla isolada na caixa-de-ar.

$$\text{Espessura do pavimento } e_p = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Espessura da parede } e_m = 0,30 \text{ m}$$

Distância entre o nível inferior do isolamento da parede e o isolamento do pavimento $D = 0,3 \text{ m}$.

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,65 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

Fachada com pavimentos intermédios:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Espessura do pavimento $e_p = 0,15$ m

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 44$ m

$\Psi = 0,15$ W/m°C

Fachada com coberturas inclinadas ou em terraço:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar e cobertura isolada pela parte superior.

Espessura da cobertura $e_p = 0,15$ m

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 44$ m

$\Psi = 0,50$ W/m°C

Fachada com varanda:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Espessura do pavimento $e_p = 0,3$ m

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 4$ m

$\Psi = 0,43$ W/m°C

Duas paredes verticais:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 15$ m

$\Psi = 0,20$ W/m°C

Caixa de estore

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Resistência térmica na caixa de estore $R = 0,4$ (m²°C/W)

$B = 10$ m

$\Psi = 1,00$ W/m°C

Padieira ombreira

Não existe contacto entre o isolamento da parede e a caixilharia.

$B = 30$ m

$\Psi = 0,20$ W/m°C

Perdas da envolvente interior

Contacto de paredes com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Varanda fechada marquise ou similar.

$$A_i = 30 \text{ m}^2$$

$$A_u = 50 \text{ m}^2$$

$$A = 30 \text{ m}^2$$

$$U = 0,330 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 0,8$$

Contacto de pavimentos com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Desvão não habitado fracamente ventilado.

$$A_i = 60 \text{ m}^2$$

$$A_u = 40 \text{ m}^2$$

$$A = 40 \text{ m}^2$$

$$U = 0,340 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 0,7$$

Contacto de coberturas com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Desvão não habitado fortemente ventilado.

$$A_i = 100 \text{ m}^2$$

$$A_u = 150 \text{ m}^2$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

$$U = 0,330 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 1$$

Contacto de vãos envidraçados com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Varanda fechada marquise ou similar.

$$A_i = 5,00$$

$$A_u = 2,00$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

$$U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 0,60$$

Pontes térmicas lineares interiores para elementos de separação com espaços não úteis com $\tau > 0,7$

$$B = 10 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,20 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

Vãos envidraçados exteriores:

Para todas as orientações:

$$U = 2,1 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$$

$$\text{Factor solar do envidraçado } g_{\perp} = 0,78$$

Tipo de caixilharia - Madeira ou PVC sem quadrícula em que a fracção envidraçada toma o valor $F_g = 0,65$

$$\text{Factor de obstrução } F_s = 0,9$$

O valor factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar (F_w) varia com a orientação do envidraçado.

Orientações:

Norte $A = 2 \text{ m}^2$
 $F_w = 0,8$

Sul $A = 10 \text{ m}^2$
 $F_w = 0,75$

Este $A = 4 \text{ m}^2$
 $F_w = 0,85$

Oeste $A = 4 \text{ m}^2$
 $F_w = 0,85$

4.3.1.2 Situação padrão para software Preceram RCCTE 2007

De seguida mostram – se todos os valores que se inseriram no software Preceram RCCTE 2007.

Edifício residencial de inércia forte, com 100 m^2 de área útil de pavimento $2,7\text{m}$ de pé direito e 270 m^3 de Volume.

Descrição do local:

Altitude:

Manteigas - 500 m de altitude.

Vila Real de Santo António - 50 m de altitude.

Cálculo do factor de forma:

Áreas exteriores:

Paredes exteriores - 80 m²

Coberturas exteriores - 20 m²

Pavimentos exteriores - 20 m²

Envidraçados exteriores - 20 m²

Áreas equivalentes ($A_{int} \times \tau$):

Paredes interiores - 24 m²

Coberturas interiores - 80 m²

Pavimentos interiores - 28 m²

Envidraçados interiores - 2,4 m²

Paredes exteriores:

Parede dupla (termo argila preceram mais tijolo 22 cm) com isolamento térmico ARGEX 16 na caixa-de-ar.

$$U = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Orientações:

Norte – 80 m²

Sul – 28 m²

Este – 16 m²

Oeste – 16 m²

Pavimentos em contacto com o exterior:

Laje com espessura de 0,20 m com betonilha ARGEX de 0,30 m e tecto falso.

$$U = 0,340 \text{ W/ m}^2\text{°C (fluxo descendente)}$$

$$A = 20 \text{ m}^2$$

Coberturas exteriores:

Laje aligeirada com fungiblocos ARGEX com espessura de laje de 0,20 m, com betonilha ARGEX de 0,30 m de espessura e tecto falso.

$$U = 0,357 \text{ (W/ m}^2\text{.°C) (fluxo ascendente)}$$

$$A = 20 \text{ m}^2$$

Paredes e pavimentos em contacto com o solo:

Parede:

Parede dupla (tijolo 11 cm mais tijolo 22 cm) com isolamento térmico ARGEX 16 na caixa-de-ar.

$$U = 0,491 \text{ (W/ m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

$$\text{Cota Z} = -1 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 18 \text{ m}^2$$

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,30 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Pavimento:

$$\text{Cota Z} = -1 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 20 \text{ m}^2$$

Pavimento isolado

$$R_{\text{isolante}} = 1,11 \text{ (m}^2\text{.}^\circ\text{C/W)}$$

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 1,2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Pontes térmicas lineares:

Fachada com pavimentos térreos:

O pavimento é isolado inferiormente e a parede dupla isolada na caixa-de-ar.

$$\text{Cota Z} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Espessura do pavimento } e_p = 0,3 \text{ m}$$

Distância entre o nível inferior do isolamento da parede e o isolamento do pavimento $D = 0,3 \text{ m}$.

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,80 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou sobre o exterior:

O pavimento é isolado inferiormente e a parede dupla isolada na caixa-de-ar.

$$\text{Espessura do pavimento } e_p = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Espessura da parede } e_m = 0,30 \text{ m}$$

Distância entre o nível inferior do isolamento da parede e o isolamento do pavimento $D = 0,3 \text{ m}$.

$$B = 18 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,65 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Fachada com pavimentos intermédios:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Espessura do pavimento $e_p = 0,15$ m

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 44$ m

$\Psi = 0,15$ W/m°C

Fachada com coberturas inclinadas ou em terraço:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar e cobertura isolada pela parte superior.

Espessura da cobertura $e_p = 0,15$ m

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 44$ m

$\Psi = 0,50$ W/m°C

Fachada com varanda:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Espessura do pavimento $e_p = 0,3$ m

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 4$ m

$\Psi = 0,43$ W/m°C

Duas paredes verticais:

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Espessura da parede $e_m = 0,30$ m

$B = 15$ m

$\Psi = 0,20$ W/m°C

Caixa de estore

Parede dupla isolada na caixa-de-ar.

Resistência térmica na caixa de estore $R = 0,4$ (m²°C/W)

$B = 10$ m

$\Psi = 1,00$ W/m°C

Padieira ombreira

Não existe contacto entre o isolamento da parede e a caixilharia.

$B = 30$ m

$\Psi = 0,20$ W/m°C

Perdas da envolvente interior

Contacto de paredes com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Varanda fechada marquise ou similar.

$$A_i = 30 \text{ m}^2$$

$$A_u = 50 \text{ m}^2$$

$$A = 30 \text{ m}^2$$

$$U = 0,360 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 0,8$$

Contacto de pavimentos com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Desvão não habitado fracamente ventilado.

$$A_i = 60 \text{ m}^2$$

$$A_u = 40 \text{ m}^2$$

$$A = 40 \text{ m}^2$$

$$U = 0,340 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 0,7$$

Contacto de coberturas com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Desvão não habitado fortemente ventilado.

$$A_i = 100 \text{ m}^2$$

$$A_u = 150 \text{ m}^2$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

$$U = 0,341 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 1$$

Contacto de vãos envidraçados com espaços não úteis

Tipo de espaço não útil - Varanda fechada marquise ou similar.

$$A_i = 5,00$$

$$A_u = 2,00$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

$$U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\tau = 0,60$$

Pontes térmicas lineares interiores para elementos de separação com espaços não úteis com $\tau > 0,7$

$$B = 10 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,20 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Vãos envidraçados exteriores:

Para todas as orientações:

$$U = 2,1 \text{ (W/m}^2\text{C)}$$

$$\text{Factor solar do envidraçado } g_{\perp} = 0,78$$

Tipo de caixilharia - Madeira ou PVC sem quadrícula em que a fracção envidraçada toma o valor $F_g = 0,65$

$$\text{Factor de obstrução } F_s = 0,9$$

O valor do factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar (F_w) varia com a orientação do envidraçado.

Orientações:

$$\text{Norte } A = 2 \text{ m}^2$$

$$F_w = 0,8$$

$$\text{Sul } A = 10 \text{ m}^2$$

$$F_w = 0,75$$

$$\text{Este } A = 4 \text{ m}^2$$

$$F_w = 0,85$$

$$\text{Oeste } A = 4 \text{ m}^2$$

$$F_w = 0,85$$

4.3.2 Procedimento

Os softwares de verificação térmica como têm nas suas bases de dados materiais de isolamento específicos, não podem ser comparados directamente entre si. Usou-se, então, uma folha de cálculo para comparar cada um separadamente. Todas as variáveis, como por exemplo os coeficientes de transmissão de calor, têm que ser os mesmos quer para o programa em análise quer para a folha de cálculo. Na comparação dos resultados, todos os passos do cálculo foram analisados, quer no programa, quer na folha de cálculo para encontrar a origem de algum erro.

5. Discussão de resultados

5.1 Sumário

A discussão dos resultados divide-se em duas partes. A discussão da análise do nível ótimo de isolamento térmico e a discussão da análise comparativa dos softwares de verificação térmica.

Na análise da determinação da espessura ótima de isolamento térmico, foram calculados os valores para o retorno do investimento (*payback*) quando se aplica isolamento a um edifício que não possua isolamento térmico e a outro que já tivesse algum nível de isolamento térmico. Também foi realizada uma análise de sensibilidade da espessura de isolamento ótima e do *payback*, variando a taxa de subida dos preços dos combustíveis e o rendimento de combustão.

Na comparação dos softwares tentou-se encontrar a origem das diferenças observadas entre os softwares de verificação térmica e a folha de cálculo.

5.2 Discussão dos resultados da análise do nível ótimo de isolamento térmico

Nesta discussão de resultados foram determinados os coeficientes de transmissão de calor ótimos e respectivas espessuras de isolamento ótimas, foram calculados os custos totais para dois tipos de envidraçados (simples e duplo), foram calculados os valores de retorno de investimento e foi realizada uma análise de sensibilidade à espessura de isolamento térmica e *payback* variando o preço de energia e o rendimento de combustão.

5.2.1 Coeficientes de transmissão de calor ótimos e respectivas espessuras ótimas de isolamento térmico

Do cálculo do coeficiente de transmissão de calor ótimo, resulta uma espessura ótima de isolamento térmico para cada caso de estudo. Este coeficiente é para a envolvente opaca do edifício nos diferentes concelhos do país. Os coeficientes foram calculados para os dois tempos de vida definidos.

5.2.1.1 Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida

Para os concelhos em estudo, representativos das regiões climáticas, foram calculados os coeficientes de transmissão de calor ótimos e respectivas espessuras de isolamento a aplicar no edifício padrão. Estes valores estão presentes nas seguintes tabelas:

Tabela 14

Coefficientes de transmissão de calor óptimos ($W/m^2\text{°C}$) para a envolvente opaca para 20 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,279	0,237	0,359	0,237	0,226	0,379	0,335	0,268
Vale de Cambra (I2)	0,236	0,200	0,303	0,200	0,191	0,320	0,283	0,227
Manteigas (I3)	0,198	0,168	0,254	0,167	0,160	0,268	0,237	0,190

Para o edifício em estudo, em termos de espessuras de isolamento térmico para as diferentes envolventes os resultados são os seguintes:

Tabela 15

Espessuras de isolamento térmico óptimas (m) para a cobertura para 20 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,116	0,139	0,087	0,139	0,146	0,082	0,095	0,121
Vale de Cambra (I2)	0,140	0,167	0,106	0,167	0,175	0,010	0,114	0,146
Manteigas (I3)	0,169	0,202	0,129	0,202	0,212	0,122	0,139	0,177

Tabela 16

Espessuras de isolamento térmico óptimas (m) para o pavimento para 20 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,103	0,126	0,075	0,126	0,133	0,069	0,081	0,109
Vale de Cambra (I2)	0,127	0,154	0,093	0,154	0,162	0,086	0,101	0,133
Manteigas (I3)	0,156	0,189	0,116	0,189	0,199	0,109	0,126	0,164

Tabela 17

Espessuras de isolamento térmico ótimas (m) para a parede para 20 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,091	0,114	0,063	0,115	0,122	0,058	0,070	0,097
Vale de Cambra (I2)	0,115	0,142	0,081	0,143	0,150	0,075	0,090	0,121
Manteigas (I3)	0,145	0,177	0,104	0,178	0,188	0,097	0,114	0,152

5.2.1.2 Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida:

Para os concelhos em estudo, representativos das regiões climáticas, foram calculados os coeficientes de transmissão de calor ótimos e respectivas espessuras de isolamento a aplicar no edifício padrão. Estes valores estão presentes nas seguintes tabelas:

Tabela 18

Coeficientes de transmissão de calor ótimos ($W/m^2\text{°C}$) para a envolvente opaca para 40 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,218	0,185	0,281	0,185	0,177	0,296	0,262	0,210
Vale de Cambra (I2)	0,184	0,156	0,237	0,156	0,149	0,250	0,221	0,177
Manteigas (I3)	0,154	0,131	0,198	0,131	0,125	0,209	0,185	0,148

Para o edifício em estudo, em termos de espessuras de isolamento térmico para as diferentes envolventes os resultados são os seguintes:

Tabela 19

Espessuras de isolamento térmico ótimas (m) para a cobertura para 40 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,152	0,181	0,115	0,182	0,191	0,109	0,125	0,159
Vale de Cambra (I2)	0,182	0,217	0,139	0,218	0,228	0,131	0,150	0,190
Manteigas (I3)	0,220	0,262	0,169	0,263	0,275	0,159	0,182	0,230

Tabela 20

Espessuras de isolamento térmico ótimas (m) para o pavimento para 40 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,139	0,169	0,102	0,169	0,178	0,095	0,112	0,146
Vale de Cambra (I2)	0,169	0,204	0,126	0,205	0,215	0,118	0,137	0,178
Manteigas (I3)	0,207	0,249	0,156	0,250	0,262	0,146	0,169	0,217

Tabela 21

Espessuras de isolamento térmico ótimas (m) para a parede para 40 anos de tempo de vida.

Concelho	Diesel	Propano canalizado	Gás natural canalizado	Butano garrafa	Propano garrafa	Lenha	Pellets	Electricidade
Mira (I1)	0,127	0,157	0,090	0,157	0,166	0,084	0,100	0,134
Vale de Cambra (I2)	0,158	0,197	0,114	0,193	0,204	0,106	0,125	0,166
Manteigas (I3)	0,196	0,238	0,144	0,238	0,251	0,135	0,157	0,206

Como se pode ver pelas tabelas acima, os coeficientes de transmissão de calor ($W/m^2\text{°C}$) são mais pequenos para combustíveis mais caros e para climas mais severos. O contrário acontece para as espessuras de isolamento ótimas. Estas são mais altas para climas mais severos e para os combustíveis mais caros. Existe também uma diminuição do coeficiente de transmissão de calor e um aumento da espessura ótima de isolamento térmico para tempos de ciclo de vida maiores. Para combustíveis mais caros e para os climas mais severos, existe um custo energético elevado levando a uma maior possibilidade de reduzir custos.

Os coeficientes de transmissão de calor ótimos calculados estão algo longe dos coeficientes de referência presentes na página 2513 do RCCTE (DL 80/2006) como se mostra na seguinte tabela:

Tabela 22

Coeficientes de transmissão térmica recomendados ($U\text{-}W/m^2\text{°C}$)

Elemento da envolvente	Região climática			
	I1	I2	I3	Regiões Autónomas
Elementos exteriores em zona corrente				
Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50	1,40
Zonas opacas horizontais	0,50	0,45	0,40	0,80
Elementos interiores em zona corrente				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1	2
Zonas opacas horizontais	1	0,90	0,80	1,25
Envidraçados	4,30	3,30	3,30	4,30

De seguida, mostra-se como varia o coeficiente de transmissão de calor (L , $W/°C$) com a área envidraçada, tipo de vidro e número de renovações de ar.

5.2.2 Comportamento do coeficiente global de transmissão de calor

Na seguinte tabela mostra-se como varia o coeficiente global de transmissão de calor do edifício padrão com isolamento XPS de 30 mm de espessura, com a área envidraçada (AE), tipo de vidro e renovações de ar por hora (RA).

Tabela 23

Coeficiente global de transmissão de calor (L , $W/°C$) do edifício padrão.

AE (%)	Vidro simples				Vidro Duplo			
	0,6 RA	1 RA	1,5 RA	2 RA	0,6 RA	1 RA	1,5 RA	2 RA
20	291,9	327,9	372,9	417,9	267,9	303,9	348,9	393,9
30	319,6	355,6	400,6	445,6	283,6	319,6	364,6	409,6
40	347,2	383,2	428,2	473,2	299,2	335,2	380,2	425,2
50	374,9	410,9	455,9	500,9	314,9	350,9	395,9	440,9

Em Portugal, a espessura de isolamento de 30mm é geralmente suficiente para a verificação do RCCTE nas habitações da região de aquecimento I1. Como era de esperar, o valor de L sobe com o aumento dos valores de AE e RA. Além disso, nota-se que para a mesma renovação de ar, a diferença de valores de L de vidro simples para vidro duplo é maior para áreas envidraçadas maiores. O valor de L (RA = 2) é aproximadamente maior 6,1% no vidro simples para AE de 20% e 13,6% para AE de 50%. O valor de L (AE = 50%) é aproximadamente maior 19,1% no vidro simples para RA de 0,6 e 13,6% para RA de 2.

De seguida, mostram-se os gráficos que demonstram a evolução dos custos totais com o aumento da espessura de isolamento para os vários concelhos considerando 20 e 40 anos de tempo de ciclo de vida.

5.2.3 Custos totais no tempo de ciclo de vida para os diferentes concelhos

De seguida mostram-se os resultados dos custos totais para os diferentes concelhos representativos das regiões climáticas e para as diferentes formas de aquecimento. Nestes custos totais a cobertura e pavimento estão isolados com o nível óptimo.

5.2.3.1 Resultados obtidos para o tempo de ciclo de vida de 20 anos:

Nas próximas figuras 26 e 27, mostram-se os custos totais do edifício padrão, no tempo de ciclo de vida de 20 anos, no concelho de Mira (I1), variando a espessura de isolamento térmico da parede para cada combustível e para os dois diferentes tipos de vidro:

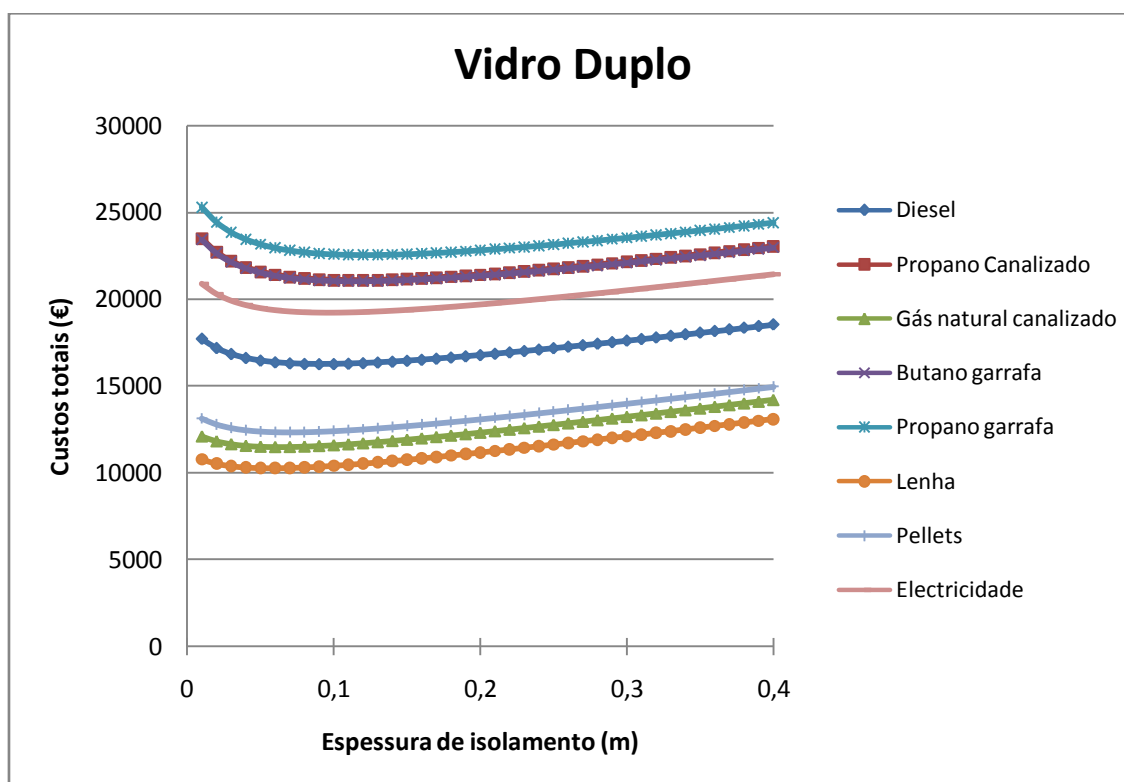


Figura 26 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Mira utilizando vidro duplo.

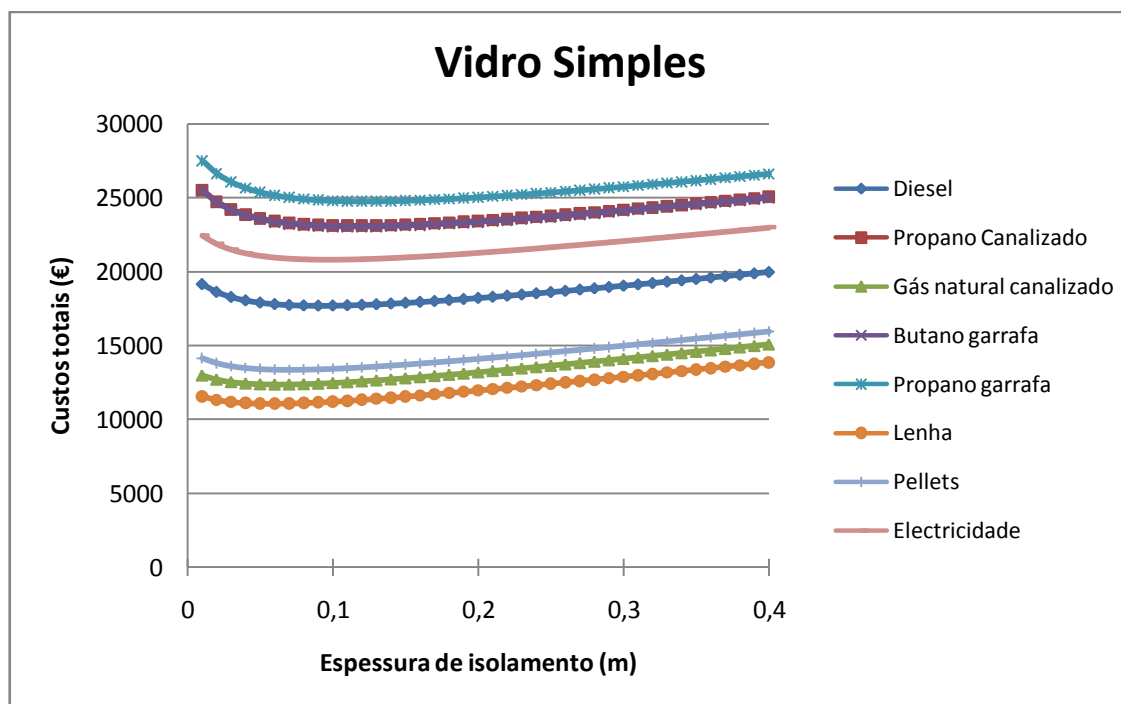


Figura 27 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Mira utilizando vidro simples.

Nas próximas figuras 28 e 29, mostram-se os custos totais do edifício padrão, no tempo de ciclo de vida de 20 anos, no concelho de Vale de Cambra (I2), variando a espessura de isolamento térmico da parede para cada combustível e para os dois diferentes tipos de vidro:

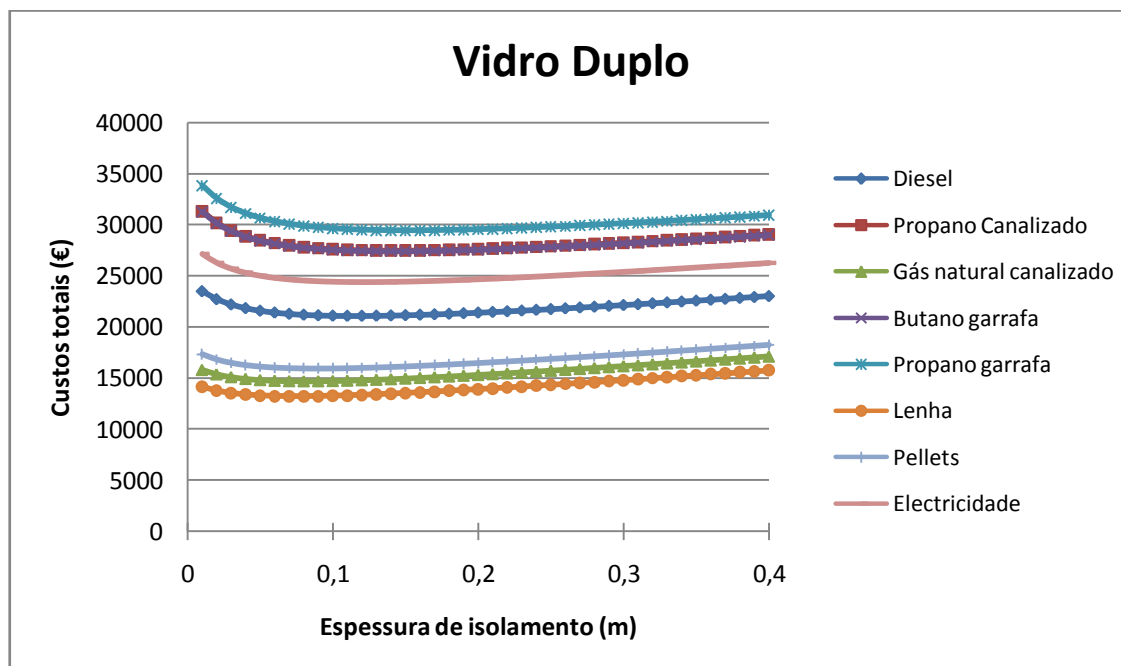


Figura 28 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Vale de Cambra utilizando vidro duplo.

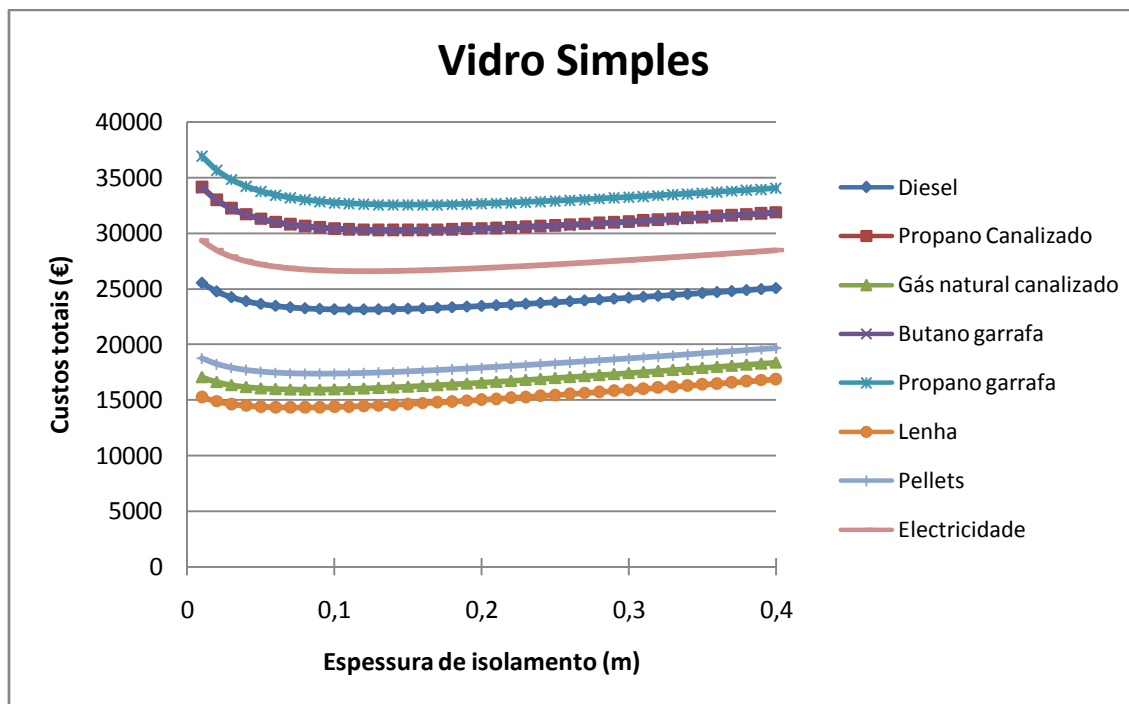


Figura 29 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Vale de Cambra utilizando vidro simples.

Na figura 30 e 31, mostram-se os custos totais do edifício padrão, no tempo de ciclo de vida de 20 anos, no concelho de Manteigas (I3), variando a espessura de isolamento térmico da parede para cada combustível e para os dois diferentes tipos de vidro:

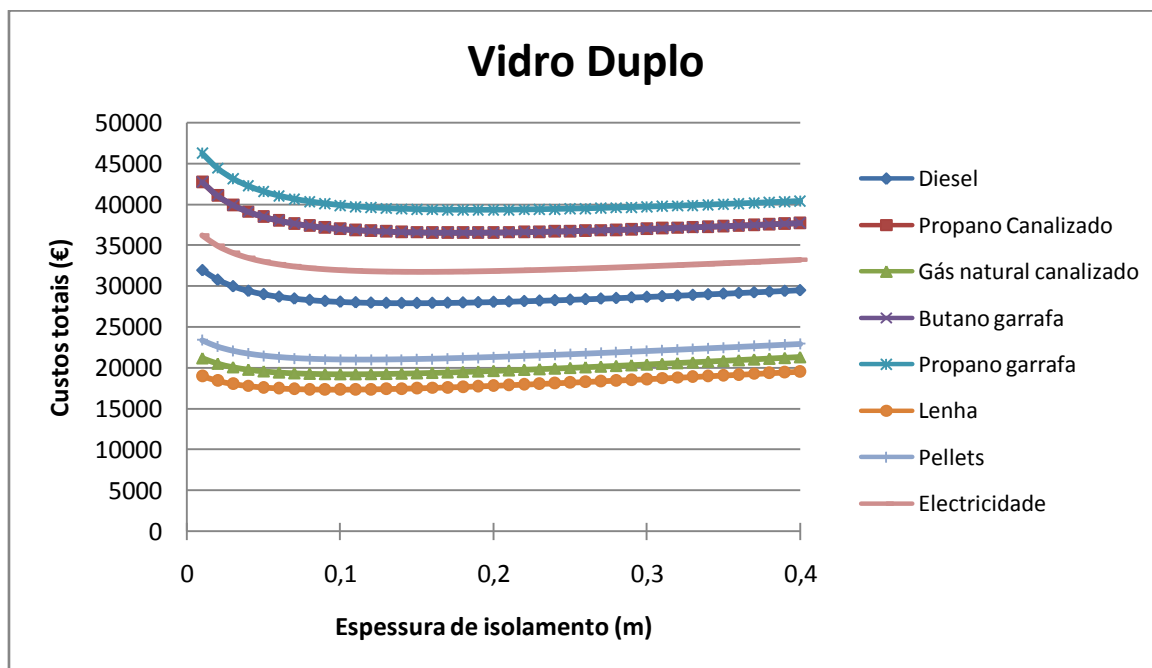


Figura 30 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Manteigas utilizando vidro duplo.

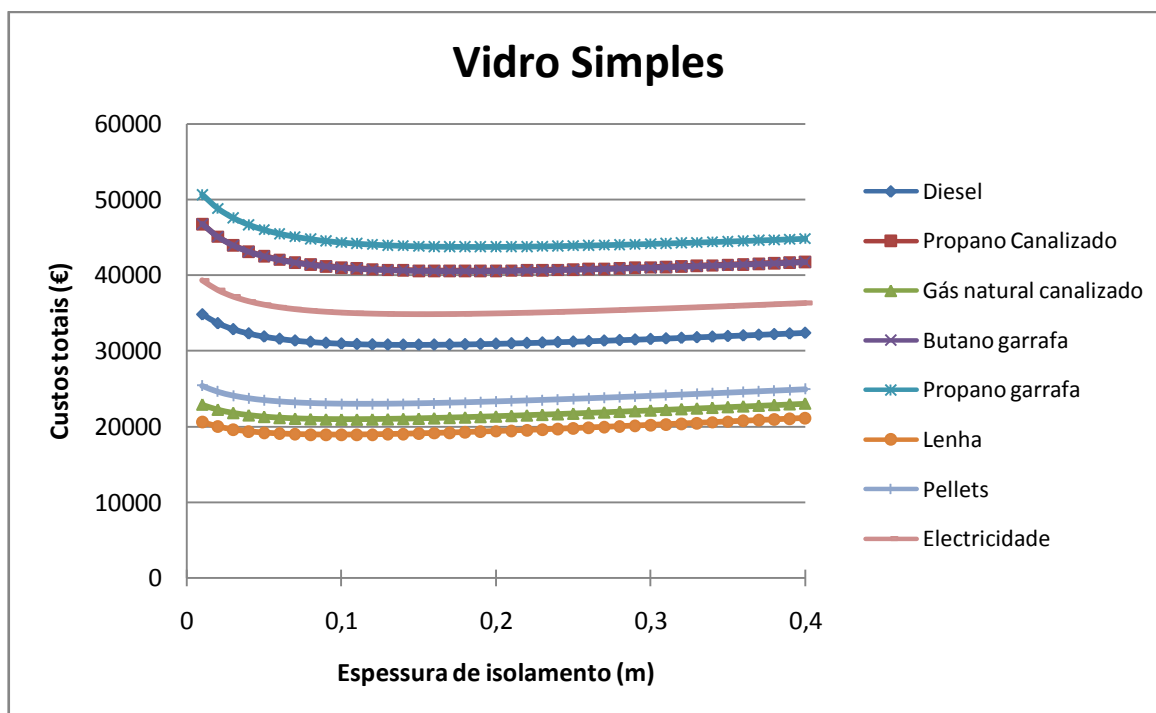


Figura 31 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Manteigas utilizando vidro simples.

5.2.3.2 Resultados obtidos para o tempo de ciclo de vida de 40 anos

Nas próximas figuras 32 e 33, mostram-se os custos totais do edifício padrão, no tempo de ciclo de vida de 40 anos, no concelho de Mira (I1), variando a espessura de isolamento térmico da parede para cada combustível e para os dois diferentes tipos de vidro:

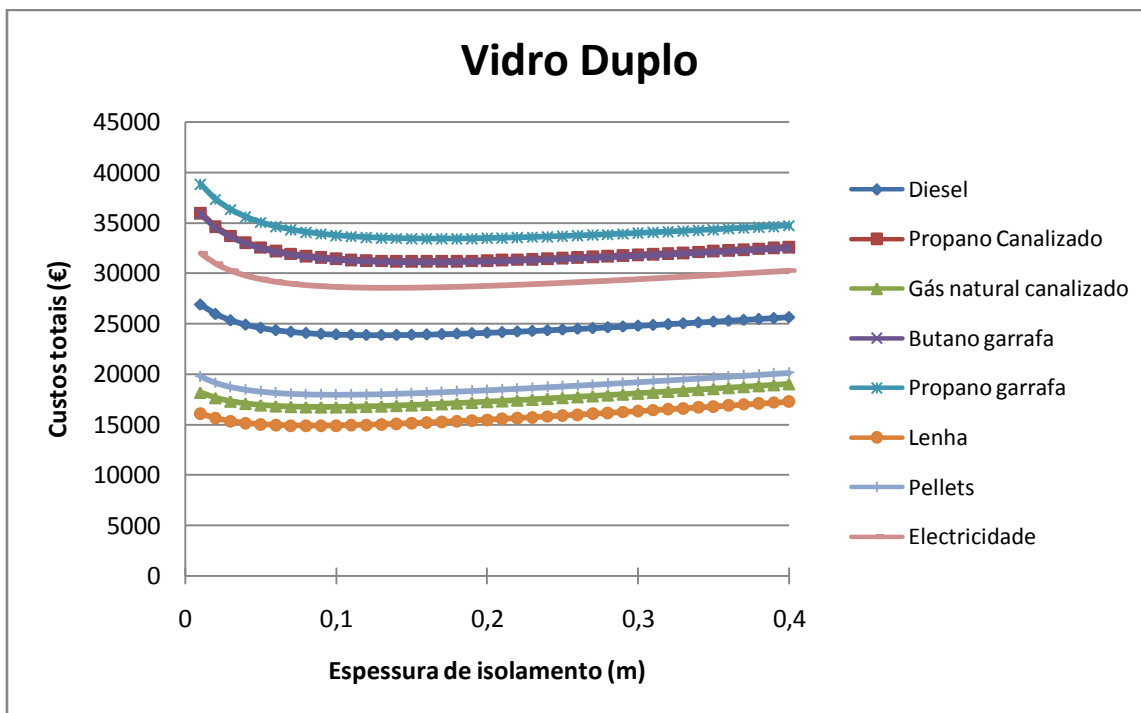


Figura 32 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Mira utilizando vidro duplo.

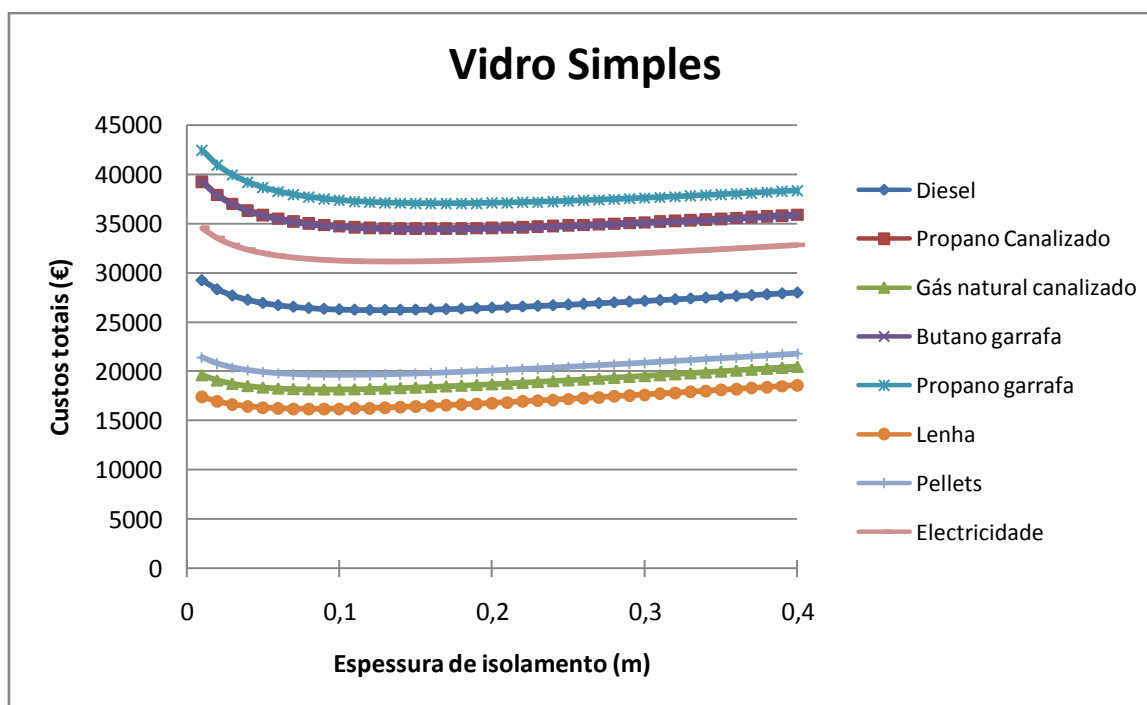


Figura 33 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Mira utilizando vidro simples.

Nas próximas figuras 34 e 35, mostram-se os custos totais do edifício padrão, no tempo de ciclo de vida de 40 anos, no concelho de Vale de Cambra (I2), variando a espessura de isolamento térmico da parede para cada combustível e para os dois diferentes tipos de vidro:

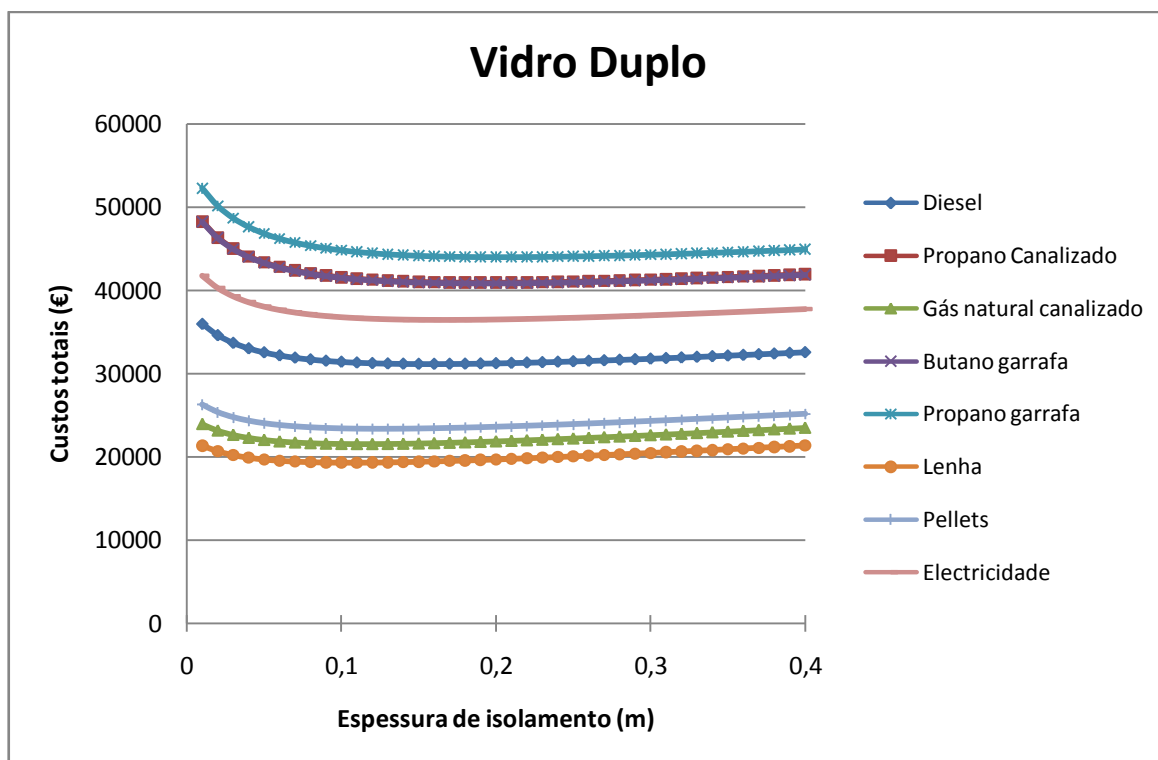


Figura 34 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Vale de Cambra utilizando vidro duplo.

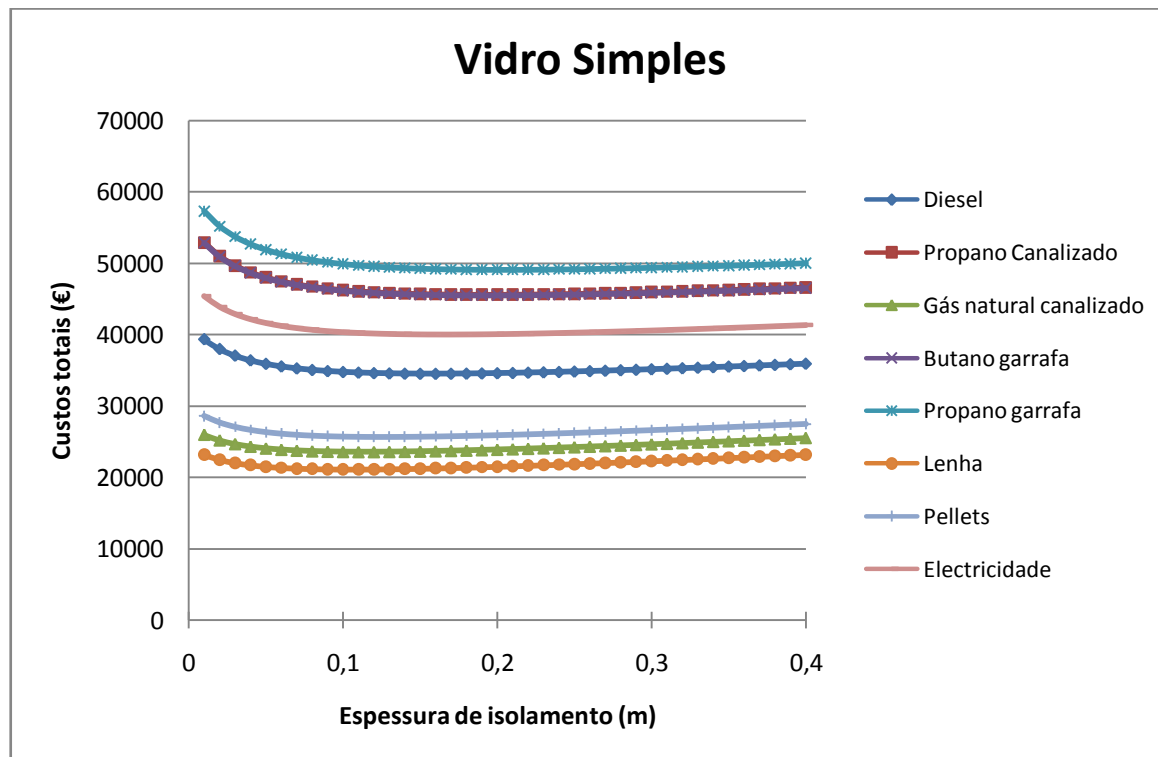


Figura 35 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Vale de Cambra utilizando vidro simples.

Nas próximas figuras 36 e 37, mostram-se os custos totais do edifício padrão, no tempo de ciclo de vida de 40 anos, no concelho de Manteigas (13), variando a espessura de isolamento térmico da parede para cada combustível e para os dois diferentes tipos de vidro:

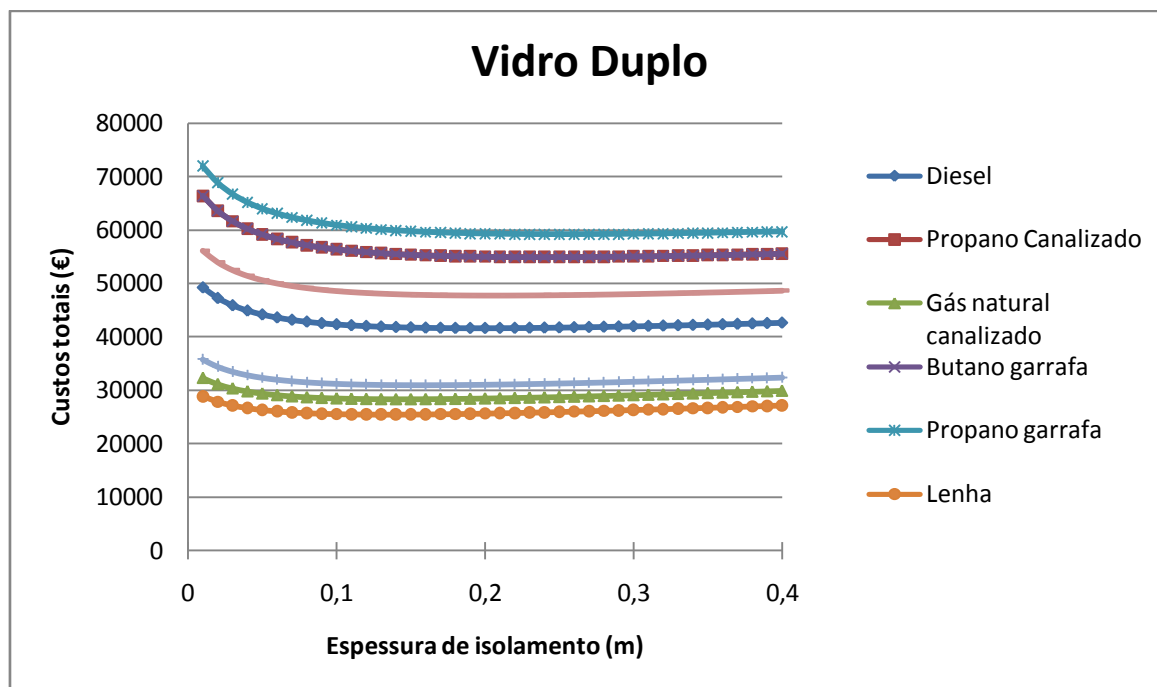


Figura 36 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Manteigas utilizando vidro duplo.

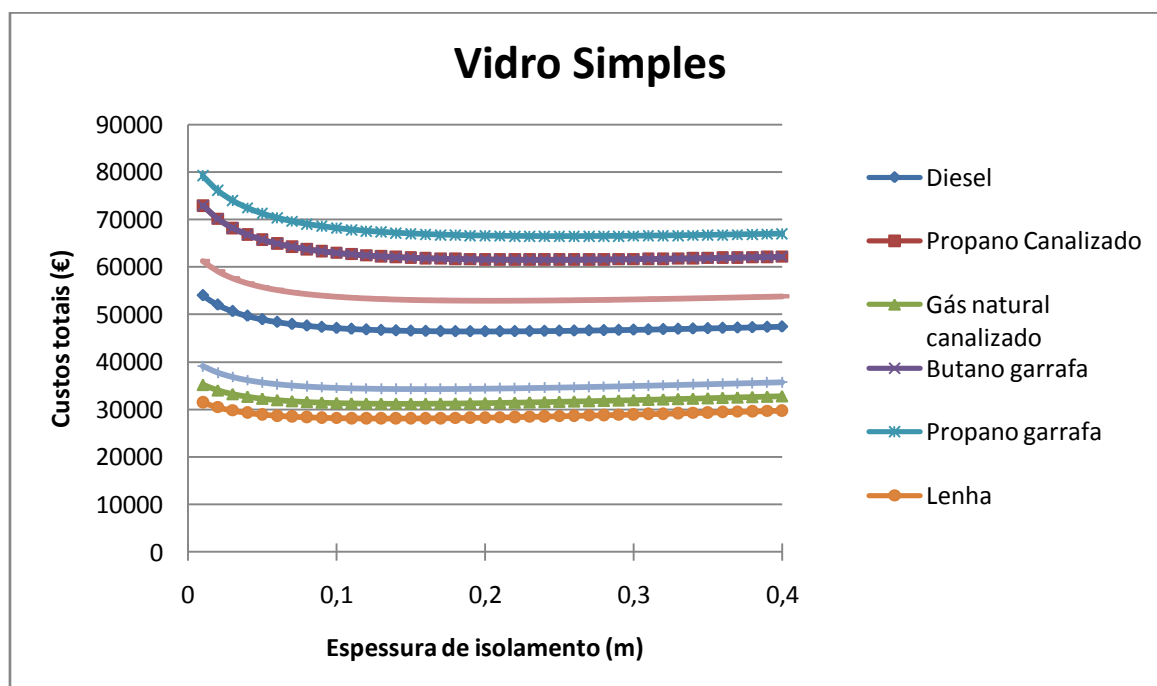


Figura 37 - Custos totais para cada espessura de isolamento em Manteigas utilizando vidro simples.

Como se pode ver pelos gráficos acima, o isolamento óptimo é atingido mais rapidamente para combustíveis mais baratos, climas menos severos e tempos de ciclo de vida mais curtos. Olhando para o comportamento das curvas dos gráficos vê-se claramente a diferença entre os combustíveis mais caros e mais baratos. Nos combustíveis mais baratos, depois de atingirem o mínimo dos custos totais vê-se claramente que depois os custos totais sobem rapidamente com o aumento de espessura de isolamento. Os combustíveis mais caros, como por exemplo o propano garrafa, nota-se uma certa inércia relativamente ao aumento da espessura de isolamento térmico. No caso dos combustíveis mais baratos, deve-se ao facto de que a partir de um determinado momento as poupanças económicas que se obtêm com o aumento de espessura de isolamento são muito pequenas face ao aumento do preço do isolamento.

De seguida, mostra-se os gráficos que mostram o comportamento do tempo de retorno do investimento (*payback*) com o valor de graus dias, para dois combustíveis distintos e para os dois tempos de vida do projecto em estudo.

5.2.4 Comportamento do valor do tempo de retorno do investimento (*payback*)

O valor do *payback* foi determinado a partir da seguinte fórmula:

$$PP = \frac{C_i}{C_{si} - C_{io}} \quad (93)$$

Onde C_i será o custo de isolamento óptimo do edifício, C_{si} será o custo energético de aquecimento anual do edifício sem isolamento e C_{io} será o custo energético de aquecimento anual do edifício com isolamento óptimo. De seguida, mostra-se o comportamento do *payback* com o valor de graus dias para diferentes combustíveis e tempos de ciclo de vida:

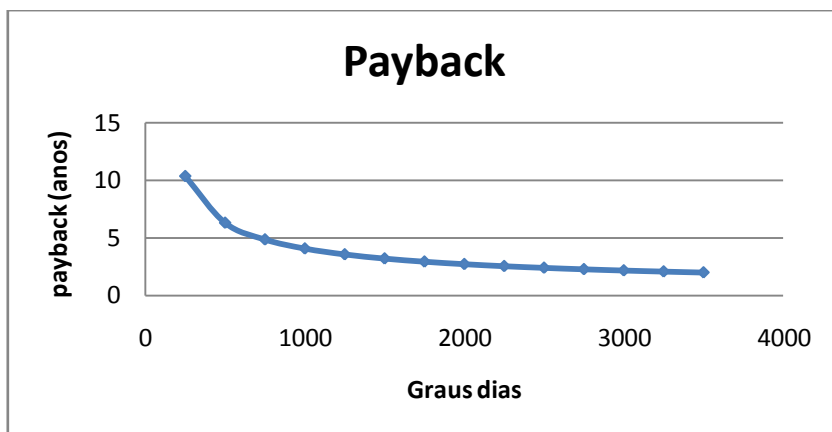


Figura 38 - Tempo de retorno do investimento (*payback*) para um tempo de ciclo de vida de 20 anos utilizando diesel.

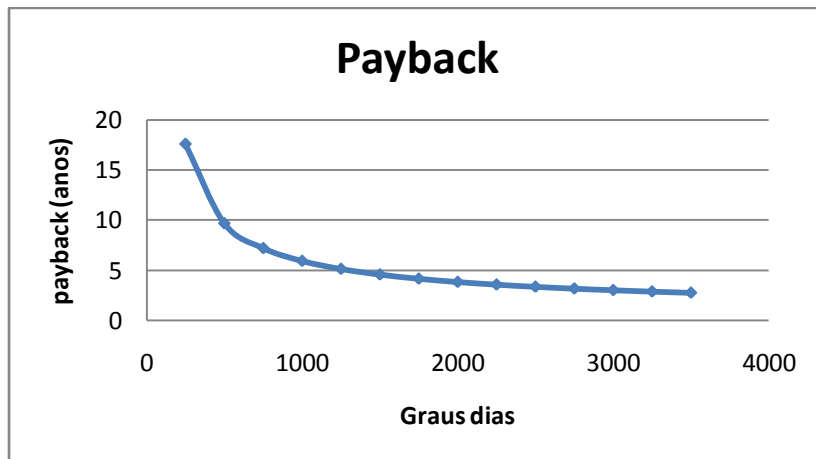


Figura 39 - Tempo de retorno do investimento (*payback*) para um tempo de ciclo de vida de 20 anos utilizando lenha.

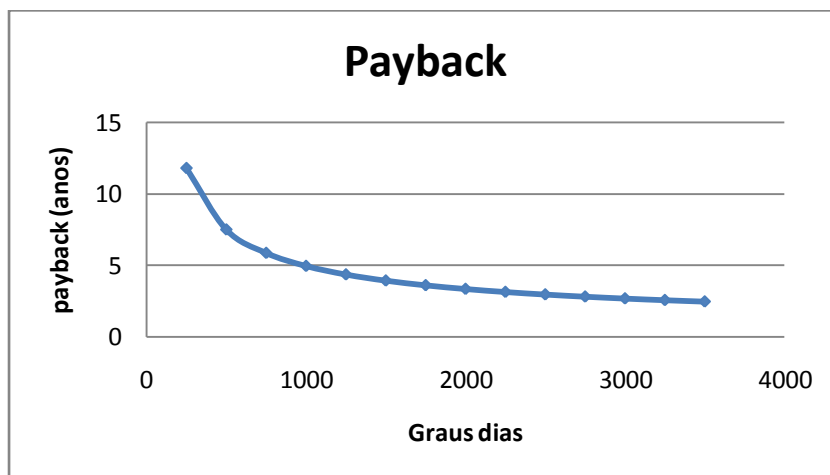


Figura 40 - Tempo de retorno do investimento (*payback*) para um tempo de ciclo de vida de 40 anos utilizando diesel.

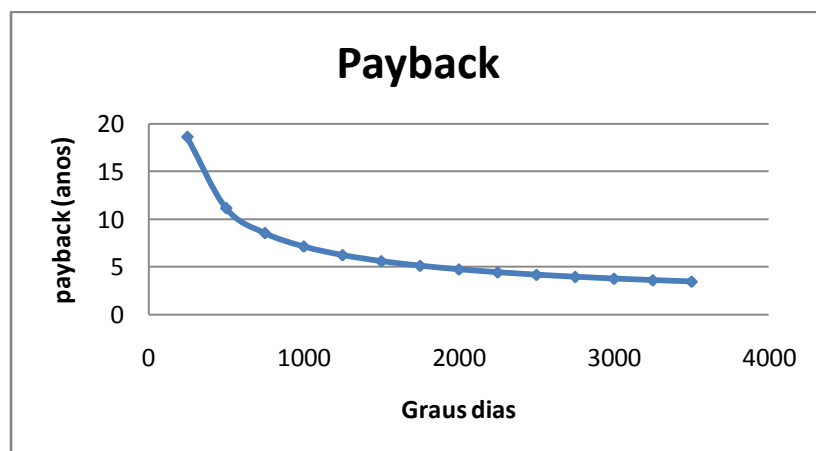


Figura 41 - Tempo de retorno do investimento (*payback*) para um tempo de ciclo de vida de 40 anos utilizando lenha.

Nos gráficos acima mostra-se o comportamento do tempo de retorno do investimento com o valor de graus dias. Vê-se claramente que para valores de graus dias elevados, o valor do *payback* é mais baixo dado que nestes climas se conseguem poupanças mais elevadas do que em climas menos severos aplicando isolamento óptimo na envolvente do edifício. Também se vê que os combustíveis mais baratos (figura 39 e 41) têm valores de *payback* mais elevados dado que não se consegue fazer poupanças tão grandes como nos combustíveis mais caros. O valor do *payback* para tempos de ciclo de vida maiores também será maior. Para um tempo de ciclo de vida maior a espessura de isolamento será também maior, levando assim a um investimento inicial maior.

5.2.5 Custos e poupanças anuais com a aplicação de isolamento térmico no edifício padrão e respectivos tempos de retorno do investimento

De seguida mostra-se os custos anuais de energia, poupança anual, custo de isolamento óptimo e *payback* para cada tipo de combustível, para os diferentes concelhos e tempos de ciclo de vida. No custo anual de energia foi considerado que o edifício ou tinha isolamento óptimo ou não tinha isolamento. No valor de *payback* simples, a poupança anual foi calculada considerando esta diferença de valores.

5.2.5.1 Análise para um tempo de ciclo de vida de 20 anos.

Considerando que o tempo de ciclo de vida é de 20 anos, para cada concelho em estudo, os resultados são os seguintes:

Tabela 24

Custos, poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Mira.

Mira (l1)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo iso opt (€)	Payback (anos)
	Sem iso		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	2224,4	2315,3	765,2	856,1	1459,2	1459,2	4654,5	3,2
Propano canalizado	3100,5	3227,0	1015,5	1142,0	2085,0	2085,0	5501,5	2,6
Gás natural canalizado	1369,4	1424,4	531,5	586,6	837,9	837,9	3606,1	4,3
Butano garrafa	3103,0	3229,9	1010,8	1137,7	2092,2	2092,2	5510,4	2,6
Propano garrafa	3394,8	3533,7	1090,8	1229,6	2304,1	2304,1	5767,0	2,5
Lenha	1210,9	1260,5	467,8	517,3	743,2	743,2	3415,5	4,6
Pellets	1547,3	1610,6	568,9	632,2	978,4	978,4	3870,2	4,0
Electricidade	2534,1	2632,8	938,5	1037,3	1595,5	1595,5	4852,5	3,0

Tabela 25

Custos, poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Vale de Cambra.

Vale de Cambra (I2)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo iso opt (€)	Payback (anos)
	Sem iso		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	3114,1	3241,5	1013,8	1141,2	2100,3	2100,3	5520,4	2,6
Propano canalizado	4337,7	4514,8	1351,0	1528,1	2986,8	2986,8	6522,5	2,2
Gás natural canalizado	1908,1	1985,2	690,4	767,5	1217,7	1217,7	4279,9	3,5
Butano garrafa	4344,2	4521,9	1347,3	1524,9	2996,9	2996,9	6533,1	2,2
Propano garrafa	4752,8	4947,2	1456,2	1650,6	3296,6	3296,6	6836,7	2,1
Lenha	1695,3	1764,7	612,5	681,9	1082,8	1082,8	4054,4	3,7
Pellets	2166,2	2254,8	748,6	837,2	1417,6	1417,6	4592,4	3,2
Electricidade	3499,9	3638,2	1206,4	1344,6	2293,6	2293,6	5754,6	2,5

Tabela 26

Custos, poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Manteigas.

Manteigas (I3)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo iso opt (€)	Payback (anos)
	Sem iso		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	4448,7	4630,7	1375,2	1557,2	3073,5	3073,5	6612,1	2,2
Propano canalizado	6193,6	6446,6	1840,6	2093,6	4353,0	4353,0	7809,9	1,8
Gás natural canalizado	2716,3	2826,4	919,8	1030,0	1796,5	1796,5	5129,4	2,9
Butano garrafa	6206,0	6459,8	1838,3	2092,1	4367,7	4367,7	7822,5	1,8
Propano garrafa	6789,7	7067,4	1989,9	2267,6	4799,7	4799,7	8185,4	1,7
Lenha	2421,9	2520,9	821,1	920,1	1600,8	1600,8	4859,9	3,0
Pellets	3094,6	3221,2	1008,4	1135,0	2086,2	2086,2	5502,9	2,6
Electricidade	4948,6	5146,2	1596,0	1793,5	3352,7	3352,7	6892,0	2,1

5.2.5.2 Análise para um tempo de vida de 40 anos.

Considerando que o tempo de ciclo de vida é de 40 anos, para cada concelho em estudo, os resultados são os seguintes:

Tabela 27

Custos, poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Mira.

Mira (I1)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo iso opt (€)	Payback (anos)
	Sem iso		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	2224,4	2315,3	707,2	798,2	1517,1	1517,1	5978,1	3,9
Propano canalizado	3100,5	3227,0	947,1	1073,7	2153,4	2153,4	7062,2	3,3
Gás natural canalizado	1369,4	1424,4	486,4	541,5	883,0	883,0	4636,0	5,3
Butano garrafa	3103,0	3229,9	942,3	1069,2	2160,7	2160,7	7073,6	3,3
Propano garrafa	3394,8	3533,7	1019,2	1158,1	2375,6	2375,6	7402,1	3,1
Lenha	1210,9	1260,5	425,0	474,6	785,9	785,9	4392,1	5,6
Pellets	1547,3	1610,6	520,6	583,9	1026,7	1026,7	4974,1	4,8
Electricidade	2534,1	2632,8	878,2	976,9	1655,9	1655,9	6231,4	3,8

Tabela 28

Custos, poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Vale de Cambra.

Vale de Cambra (I2)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo iso opt (€)	Payback (anos)
	Sem iso		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	3114,1	3241,5	945,3	1072,6	2168,8	2168,8	7086,4	3,3
Propano canalizado	4337,7	4514,8	1270,2	1447,3	3067,6	3067,6	8369,2	2,7
Gás natural canalizado	1908,1	1985,2	637,1	714,2	1271,0	1271,0	5498,5	4,3
Butano garrafa	4344,2	4521,9	1266,3	1444,0	3077,9	3077,9	8382,7	2,7
Propano garrafa	4752,8	4947,2	1371,5	1565,9	3381,3	3381,3	8771,4	2,6
Lenha	1695,3	1764,7	561,9	631,3	1133,4	1133,4	5209,9	4,6
Pellets	2166,2	2254,8	691,4	780,0	1474,8	1474,8	5898,5	4,0
Electricidade	3499,9	3638,2	1134,9	1273,2	2365,0	2365,0	7386,2	3,1

Tabela 29

Custos, poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Manteigas.

Manteigas (I3)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo iso opt (€)	Payback (anos)
	Sem iso		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	4448,7	4630,7	1293,3	1475,2	3155,5	3155,5	8483,8	2,7
Propano canalizado	6193,6	6446,6	1744,0	1997,0	4449,6	4449,6	10017,0	2,3
Gás natural canalizado	2716,3	2826,4	856,1	966,2	1860,2	1860,2	6585,9	3,5
Butano garrafa	6206,0	6459,8	1741,6	1995,4	4464,5	4464,5	10033,2	2,2
Propano garrafa	6789,7	7067,4	1888,7	2166,4	4900,9	4900,9	10497,7	2,1
Lenha	2421,9	2520,9	760,6	859,7	1661,2	1661,2	6240,9	3,8
Pellets	3094,6	3221,2	940,1	1066,7	2154,5	2154,5	7064,0	3,3
Electricidade	4948,6	5146,2	1510,6	1708,1	3438,0	3438,0	8842,1	2,6

Como se pode ver acima nas tabelas, os combustíveis mais caros têm poupanças anuais mais elevadas e valores de *payback* mais baixos. Os custos anuais de energia são mais altos para o propano garrafa e mais baixos para a lenha. Na análise de 20 anos de ciclo de vida (5.2.5.1) a aplicação de isolamento óptimo pode levar a poupanças económicas de 4799,7 € e ter como tempo de retorno do investimento apenas 1,7 anos (Manteigas). Na análise de 40 anos de ciclo de vida, a aplicação de isolamento óptimo pode levar a poupanças económicas de 4900,9 € e ter como tempo de retorno do investimento apenas 2,1 anos (Manteigas).

De seguida, mostra-se os custos anuais de energia, poupança anual, custo de isolamento óptimo e *payback* para cada tipo de combustível e para os diferentes concelhos considerando que o edifício já possuía isolamento térmico de espessura de 40 mm.

5.2.6 Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o edifício padrão considerando que já possuía isolamento de 40mm de espessura

5.2.6.1 Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida:

Tabela 30

Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Mira

Mira (I1)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo adicional Iso (€)	Payback (anos)
	Com iso 40mm		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	1044,8	1135,8	765,2	856,1	279,6	279,6	3187,3	11,4
Propano canalizado	1452,8	1579,3	1015,5	1142,0	437,3	437,3	4034,3	9,2
Gás natural canalizado	632,6	687,7	531,5	586,6	101,2	101,2	2138,9	21,1
Butano garrafa	1457,5	1584,4	1010,8	1137,7	446,7	446,7	4043,2	9,1
Propano garrafa	1594,5	1733,4	1090,8	1229,6	503,8	503,8	4299,8	8,5
Lenha	568,8	618,3	467,8	517,3	101,0	101,0	1948,3	19,3
Pellets	726,8	790,0	568,9	632,2	157,9	157,9	2403,0	15,2
Electricidade	1134,1	1232,9	938,5	1037,3	195,6	195,6	3385,3	17,3

Tabela 31

Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Vale de Cambra.

Vale de Cambra (I2)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo adicional Iso (€)	Payback (anos)
	Com iso 40mm		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	1462,7	1590,1	1013,8	1141,2	448,9	448,9	4053,2	9,0
Propano canalizado	2033,9	2211,0	1351,0	1528,1	682,9	682,9	5055,3	7,4
Gás natural canalizado	885,7	962,8	690,4	767,5	195,3	195,3	2812,7	14,4
Butano garrafa	2040,5	2218,1	1347,3	1524,9	693,2	693,2	5065,9	7,3
Propano garrafa	2232,4	2426,7	1456,2	1650,6	776,2	776,2	5369,5	6,9
Lenha	796,3	865,6	612,5	681,9	183,8	183,8	2587,2	14,1
Pellets	1017,5	1106,1	748,6	837,2	268,9	268,9	3125,2	11,6
Electricidade	1587,8	1726,0	1206,4	1344,6	381,4	381,4	4287,4	11,2

Tabela 32

Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Manteigas.

Manteigas (I3)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo adicional Iso (€)	Payback (anos)
	Com iso 40mm		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	2089,6	2271,5	1375,2	1557,2	714,3	714,3	5144,9	7,2
Propano canalizado	2905,6	3158,6	1840,6	2093,6	1065,0	1065,0	6342,7	6,0
Gás natural canalizado	1265,3	1375,5	919,8	1030,0	345,5	345,5	3662,2	10,6
Butano garrafa	2914,9	3168,8	1838,3	2092,1	1076,6	1076,6	6355,3	5,9
Propano garrafa	3189,1	3466,8	1989,9	2267,6	1199,1	1199,1	6718,2	5,6
Lenha	1137,5	1236,6	821,1	920,1	316,5	316,5	3392,7	10,7
Pellets	1453,5	1580,1	1008,4	1135,0	445,1	445,1	4035,7	9,1
Electricidade	2268,2	2465,7	1596,0	1793,5	672,2	672,2	5424,8	8,1

5.2.6.2 Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida

Tabela 33

Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Mira.

Cidade Mira (I1)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo adicional Iso (€)	Payback (anos)
	Com iso 40mm		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	1044,8	1135,8	707,2	798,2	337,6	337,6	4510,9	13,4
Propano canalizado	1452,8	1579,3	947,1	1073,7	505,7	505,7	5595,0	11,1
Gás natural canalizado	632,6	687,7	486,4	541,5	146,2	146,2	3168,8	21,7
Butano garrafa	1457,5	1584,4	942,3	1069,2	515,1	515,1	5606,4	10,9
Propano garrafa	1594,5	1733,4	1019,2	1158,1	575,3	575,3	5934,9	10,3
Lenha	568,8	618,3	425,0	474,6	143,7	143,7	2924,9	20,3
Pellets	726,8	790,0	520,6	583,9	206,2	206,2	3506,9	17,0
Electricidade	1134,1	1232,9	878,2	976,9	255,9	255,9	4764,2	18,6

Tabela 34

Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Vale de Cambra.

Vale de Cambra (I2)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo adicional Iso (€)	Payback (anos)
	Com iso 40mm		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	1462,7	1590,1	945,3	1072,6	517,4	517,4	5619,2	10,9
Propano canalizado	2033,9	2211,0	1270,2	1447,3	763,8	763,8	6902,0	9,0
Gás natural canalizado	885,7	962,8	637,1	714,2	248,6	248,6	4031,3	16,2
Butano garrafa	2040,5	2218,1	1266,3	1444,0	774,1	774,1	6915,5	8,9
Propano garrafa	2232,4	2426,7	1371,5	1565,9	860,9	860,9	7304,2	8,5
Lenha	796,3	865,6	561,9	631,3	234,3	234,3	3742,7	16,0
Pellets	1017,5	1106,1	691,4	780,0	326,0	326,0	4431,3	13,6
Electricidade	1587,8	1726,0	1134,9	1273,2	452,8	452,8	5919,0	13,1

Tabela 35

Custos e poupanças anuais e respectivo tempo de retorno do investimento para o concelho de Manteigas.

Manteigas (I3)	Custo anual de energia (€)				Poupança anual (€)		Custo adicional iso (€)	Payback (anos)
	Com iso 40mm		Com iso opt					
	VD	VS	VD	VS	VD	VS		
Diesel	2089,6	2271,5	1293,3	1475,2	796,3	796,3	7016,6	8,8
Propano canalizado	2905,6	3158,6	1744,0	1997,0	1161,6	1161,6	8549,8	7,4
Gás natural canalizado	1265,3	1375,5	856,1	966,2	409,2	409,2	5118,7	12,5
Butano garrafa	2914,9	3168,8	1741,6	1995,4	1173,4	1173,4	8566,0	7,3
Propano garrafa	3189,1	3466,8	1888,7	2166,4	1300,3	1300,3	9030,5	6,9
Lenha	1137,5	1236,6	760,6	859,7	376,9	376,9	4773,7	12,7
Pellets	1453,5	1580,1	940,1	1066,7	513,4	513,4	5596,8	10,9
Electricidade	2268,2	2465,7	1510,6	1708,1	757,6	757,6	7374,9	9,7

Como se pode ver pelas tabelas acima, os valores de *payback* subiram muito. No concelho de Mira por exemplo, para o gás natural, o valor do *payback* é de 21,1 anos para 20 anos de tempo de vida (Tabela 30). Para se obter o retorno do investimento rapidamente, não valerá a pena aplicar o isolamento óptimo no concelho de Mira (I1) se já tiver isolamento de 40 mm de espessura. Nos outros concelhos de Vale de Cambra (I2) e Manteigas (I3) a aplicação do isolamento óptimo torna-se viável dado que os valores de *payback* não ultrapassam em muito o valor de 15 anos. Considerando 40 anos de tempo de ciclo de vida, a aplicação de isolamento óptimo torna-se viável em todas as regiões climáticas dado que não é ultrapassado metade do tempo de vida do projecto.

5.2.7 Análise de sensibilidade aos resultados obtidos variando o preço da energia

De seguida mostra-se o comportamento da espessura óptima de isolamento térmico e do tempo de retorno do investimento com a variação do preço da energia.

5.2.7.1 Análise da espessura óptima de isolamento térmico

Foi realizada uma análise de sensibilidade à espessura óptima de isolamento térmico para os dois tempos de ciclo de vida em estudo. Foi considerado que os preços subiriam até um máximo de 7% por ano. É pouco provável que o preço da lenha e das pellets suba até 7% por ano.

5.2.7.1.1 Análise para 20 anos de tempo de vida

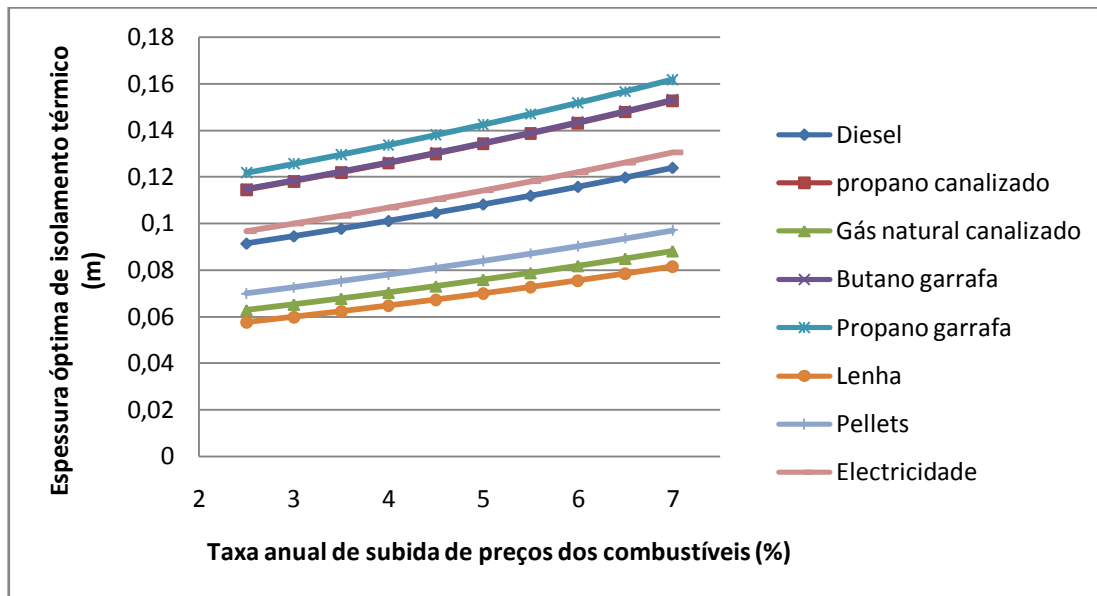


Figura 42 - Análise de sensibilidade à espessura ótima de isolamento térmico em Mira.

Tabela 36

Espessuras ótimas de isolamento térmico para cada taxa anual de subida de preços dos combustíveis em Mira.

	Espessura ótima (m) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	0,091	0,094	0,098	0,101	0,105	0,108	0,112	0,116	0,120	0,124
Propano canalizado	0,114	0,118	0,122	0,126	0,130	0,134	0,139	0,143	0,148	0,153
Gás natural canalizado	0,063	0,065	0,068	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	0,088
Butano garrafa	0,115	0,118	0,122	0,126	0,130	0,134	0,139	0,143	0,148	0,153
Propano garrafa	0,122	0,126	0,130	0,134	0,138	0,142	0,147	0,152	0,157	0,162
Electricidade	0,097	0,100	0,103	0,107	0,110	0,114	0,118	0,122	0,126	0,131
Lenha	0,058	0,060	0,062	0,065	Baixa probabilidade					
Pellets	0,070	0,073	0,075	0,078						

Tabela 37

Espessuras óptimas de isolamento térmico para cada taxa anual de subida de preços dos combustíveis em Vale de Cambra.

	Espessura óptima (m) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	0,115	0,119	0,122	0,126	0,131	0,135	0,139	0,144	0,148	0,153
Propano canalizado	0,142	0,147	0,151	0,156	0,161	0,166	0,171	0,176	0,182	0,188
Gás natural canalizado	0,081	0,084	0,087	0,090	0,093	0,097	0,100	0,104	0,107	0,111
Butano garrafa	0,143	0,147	0,151	0,156	0,161	0,166	0,171	0,177	0,182	0,188
Propano garrafa	0,151	0,155	0,160	0,165	0,170	0,175	0,181	0,186	0,192	0,198
Electricidade	0,121	0,125	0,129	0,133	0,138	0,142	0,147	0,151	0,156	0,161
Lenha	0,075	0,078	0,081	0,083	Baixa probabilidade					
Pellets	0,090	0,093	0,096	0,099						

Tabela 38

Espessuras óptimas de isolamento térmico para cada taxa anual de subida de preços dos combustíveis em Manteigas.

	Espessura óptima (m) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	0,145	0,149	0,154	0,158	0,163	0,168	0,174	0,179	0,185	0,191
Propano canalizado	0,177	0,183	0,188	0,194	0,199	0,205	0,212	0,218	0,225	0,232
Gás natural canalizado	0,104	0,108	0,111	0,115	0,119	0,123	0,127	0,131	0,135	0,140
Butano garrafa	0,178	0,183	0,188	0,194	0,200	0,206	0,212	0,218	0,225	0,232
Propano garrafa	0,188	0,193	0,199	0,205	0,211	0,217	0,223	0,230	0,237	0,244
Electricidade	0,152	0,157	0,162	0,167	0,172	0,177	0,183	0,188	0,194	0,200
Lenha	0,097	0,100	0,104	0,107	Baixa probabilidade					
Pellets	0,114	0,118	0,122	0,126						

5.2.7.1.2 Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida

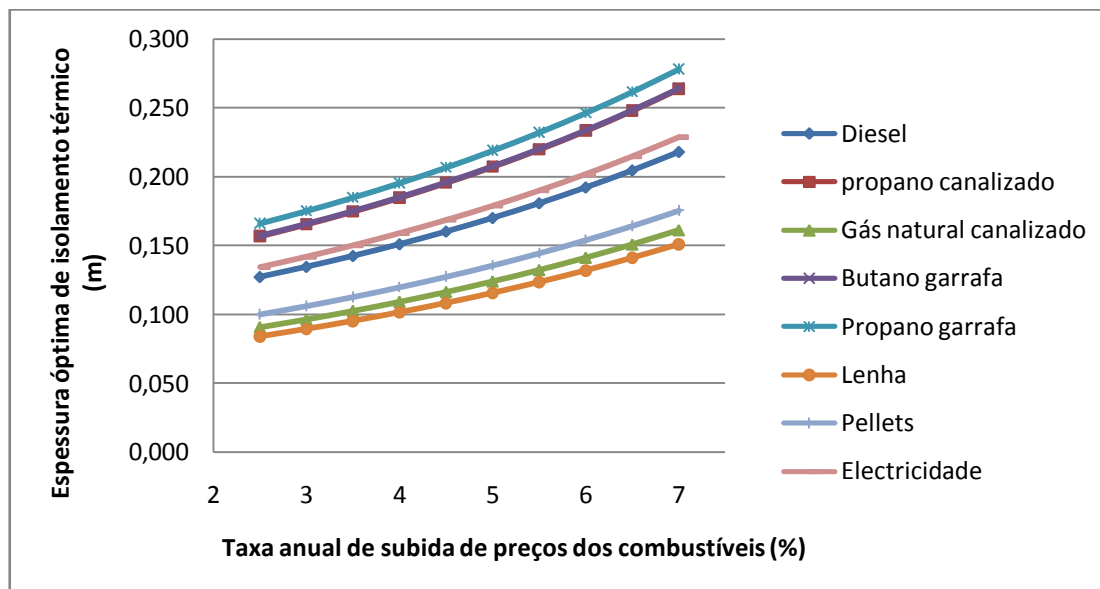


Figura 43 - Análise de sensibilidade à espessura ótima de isolamento térmico em Mira.

Tabela 39

Espessuras ótimas de isolamento térmico para cada taxa anual de subida de preços dos combustíveis em Mira.

	Espessura ótima (m) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	0,127	0,135	0,143	0,151	0,160	0,170	0,181	0,192	0,205	0,218
Propano canalizado	0,157	0,166	0,175	0,185	0,196	0,207	0,220	0,233	0,248	0,264
Gás natural canalizado	0,091	0,097	0,103	0,109	0,116	0,124	0,132	0,141	0,151	0,161
Butano garrafa	0,157	0,166	0,175	0,185	0,196	0,208	0,220	0,234	0,249	0,264
Propano garrafa	0,166	0,175	0,185	0,196	0,207	0,219	0,232	0,246	0,262	0,278
Electricidade	0,134	0,142	0,150	0,159	0,169	0,179	0,190	0,202	0,215	0,229
Lenha	0,084	0,090	0,095	0,102	Baixa probabilidade					
Pellets	0,100	0,106	0,113	0,120						

Tabela 40

Espessuras ótimas de isolamento térmico para cada taxa anual de subida de preços dos combustíveis em Vale de Cambra.

	Espessura óptima (m) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	0,158	0,166	0,176	0,186	0,197	0,208	0,221	0,234	0,249	0,265
Propano canalizado	0,193	0,203	0,214	0,226	0,238	0,252	0,267	0,283	0,300	0,319
Gás natural canalizado	0,114	0,121	0,128	0,136	0,145	0,154	0,164	0,174	0,185	0,198
Butano garrafa	0,193	0,203	0,214	0,226	0,239	0,253	0,268	0,284	0,301	0,320
Propano garrafa	0,204	0,214	0,226	0,238	0,252	0,266	0,282	0,298	0,316	0,336
Electricidade	0,166	0,175	0,185	0,195	0,206	0,219	0,232	0,246	0,261	0,277
Lenha	0,106	0,113	0,120	0,127	Baixa probabilidade					
Pellets	0,125	0,132	0,140	0,149						

Tabela 41

Espessuras ótimas de isolamento térmico para cada taxa anual de subida de preços dos combustíveis em Manteigas.

	Espessura óptima (m) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	0,196	0,206	0,217	0,229	0,242	0,256	0,271	0,287	0,305	0,324
Propano canalizado	0,238	0,250	0,263	0,277	0,292	0,309	0,327	0,346	0,366	0,389
Gás natural canalizado	0,144	0,152	0,161	0,170	0,180	0,191	0,203	0,215	0,229	0,244
Butano garrafa	0,238	0,250	0,263	0,278	0,293	0,309	0,327	0,346	0,367	0,389
Propano garrafa	0,251	0,263	0,277	0,292	0,308	0,325	0,344	0,364	0,386	0,409
Electricidade	0,206	0,216	0,228	0,240	0,254	0,268	0,284	0,301	0,319	0,339
Lenha	0,135	0,142	0,150	0,159	Baixa probabilidade					
Pellets	0,157	0,166	0,175	0,185						

Pelas figuras 42 e 43 acima mostradas, pode-se afirmar que a espessura de isolamento térmica aumenta com o aumento dos combustíveis. Nota-se que a espessura óptima de isolamento térmico nos combustíveis mais caros é mais sensível à variação dos preços do que nos combustíveis mais baratos. Também se nota que no tempo de ciclo de vida de 40 anos (figura 43) a espessura óptima de isolamento térmico é mais sensível às variações do preço de energia.

De seguida realizou-se a mesma análise de sensibilidade ao tempo de retorno do investimento.

5.2.7.2 Análise do tempo de retorno do investimento

Os valores de tempo de retorno do investimento calculados consideram que as poupanças anuais eram as mesmas (*payback* simples). Como os valores de *payback* eram baixos não se achou necessário o cálculo do *payback* complexo.

5.2.7.2.1 Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida

Tabela 42

Tempos de retorno do investimento variando a taxa de subida anual de preços dos combustíveis em Mira.

	Payback (anos) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
Propano canalizado	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2
Gás natural canalizado	4,3	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,2
Butano garrafa	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2
Propano garrafa	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1
Electricidade	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7
Lenha	4,6	4,7	4,8	4,9	Baixa probabilidade					
Pellets	4,0	4,0	4,1	4,2						

Tabela 43

Tempos de retorno do investimento variando a taxa de subida anual de preços dos combustíveis em Vale de Cambra.

	Payback (anos) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2
Propano canalizado	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7
Gás natural canalizado	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,2
Butano garrafa	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7
Propano garrafa	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5
Electricidade	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1
Lenha	3,7	3,8	3,9	4,0	Baixa probabilidade					
Pellets	3,2	3,3	3,4	3,4						

Tabela 44

Tempos de retorno do investimento variando a taxa de subida anual de preços dos combustíveis em Manteigas.

	Payback (anos) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6
Propano canalizado	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2
Gás natural canalizado	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5
Butano garrafa	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2
Propano garrafa	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1
Electricidade	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5
Lenha	3,0	3,1	3,2	3,2	Baixa probabilidade					
Pellets	2,6	2,7	2,8	2,8						

5.2.7.2.2 Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida

Tabela 45

Tempos de retorno do investimento variando a taxa de subida anual de preços dos combustíveis em Mira.

	Payback (anos) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	3,9	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,8
Propano canalizado	3,3	3,4	3,6	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	4,9
Gás natural canalizado	5,3	5,4	5,7	5,9	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,7
Butano garrafa	3,3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	4,9
Propano garrafa	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,8	4,0	4,2	4,4	4,7
Electricidade	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6
Lenha	5,6	5,8	6,0	6,3	Baixa probabilidade					
Pellets	4,8	5,0	5,2	5,4						

Tabela 46

Tempos de retorno do investimento variando a taxa de subida anual de preços dos combustíveis em Vale de Cambra.

	Payback (anos) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	3,3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,6	4,9
Propano canalizado	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	4,1
Gás natural canalizado	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,8	6,1	6,4
Butano garrafa	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	4,1
Propano garrafa	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9
Electricidade	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7
Lenha	4,6	4,8	5,0	5,2	Baixa probabilidade					
Pellets	4,0	4,2	4,3	4,5						

Tabela 47

Tempos de retorno do investimento variando a taxa de subida anual de preços dos combustíveis em Manteigas.

	Payback (anos) variando a taxa anual de subida dos preços dos combustíveis									
	2,5%	3%	3,5%	4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Diesel	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,7	3,8	4,0
Propano canalizado	2,3	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4
Gás natural canalizado	3,5	3,7	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,3
Butano garrafa	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4
Propano garrafa	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Electricidade	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9
Lenha	3,8	3,9	4,1	4,2	Baixa probabilidade					
Pellets	3,3	3,4	3,6	3,7						

Como se pode ver pelas tabelas acima, os tempos de retorno do investimento aumentam quando os combustíveis aumentam. O *payback* simples calculado não considera a subida anual dos preços. As poupanças foram calculadas considerando o preço inicial do combustível. Não existem grandes variações no *payback* com a variação dos preços de combustível. Não se ultrapassa em muito mais do que dois anos de diferença. O valor de *payback* sobe com o preço dos combustíveis porque a espessura óptima de isolamento também sobe levando a um investimento inicial maior.

De seguida mostra-se os resultados da análise de sensibilidade realizada à espessura óptima de isolamento térmico e tempo de retorno do investimento, variando a eficiência de combustão.

5.2.8 Análise de sensibilidade aos resultados obtidos variando o rendimento de combustão

De seguida mostra-se o comportamento da espessura óptima de isolamento térmica com a variação da eficiência de combustão para diferentes valores de graus dias.

5.2.8.1 Análise da sensibilidade para diferentes valores de graus – dias.

5.2.8.1.1 Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida

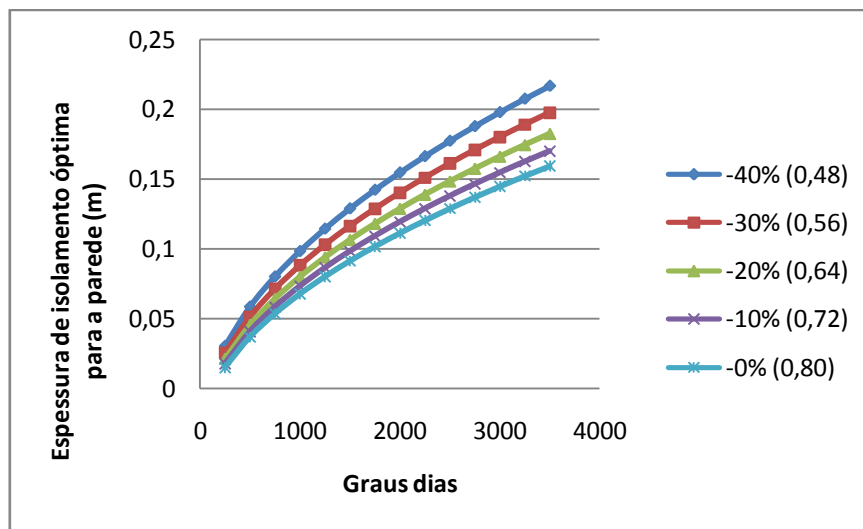


Figura 44 - Espessura óptima de isolamento térmico para cada valor de graus dias variando o rendimento da combustão no diesel.

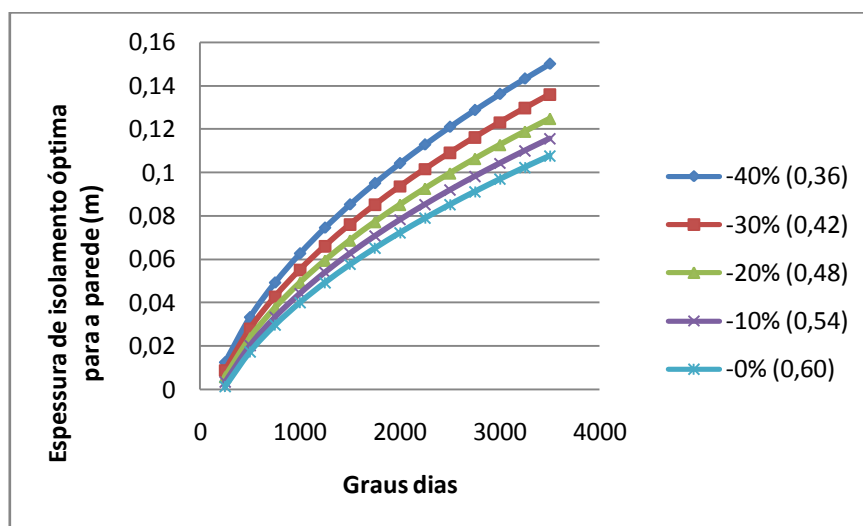


Figura 45 - Espessura óptima de isolamento térmico para cada valor de graus dias variando o rendimento da combustão na lenha.

5.2.8.1.2 Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida

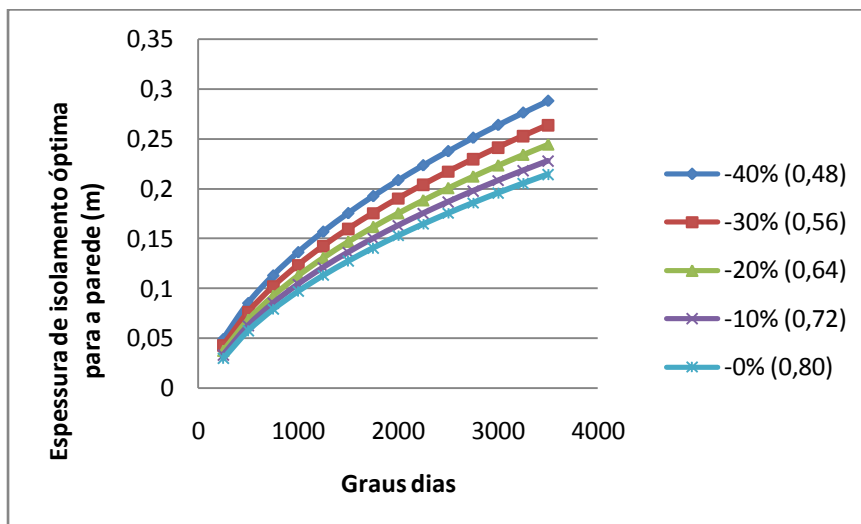


Figura 46 - Espessura ótima de isolamento térmico para cada valor de graus dias variando o rendimento da combustão de diesel.

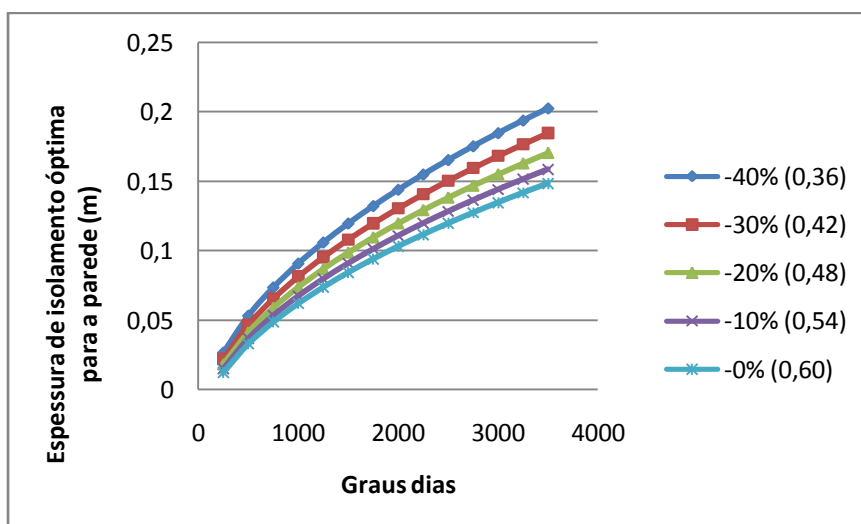


Figura 47 - Espessura ótima de isolamento térmico para cada valor de graus dias variando o rendimento da combustão da lenha.

Nota-se que a variação da eficiência de combustão influencia mais a espessura ótima de isolamento térmico para valores de graus – dias maiores. Nota-se também que os combustíveis mais caros e os tempos de ciclo de vida maiores são mais sensíveis às variações da eficiência de combustão.

5.2.8.2 Análise de sensibilidade para as regiões em estudo

De seguida mostra-se os valores das espessuras óptimas de isolamento térmico e valores de tempo de retorno do investimento para os concelhos e combustíveis em estudo

5.2.8.2.1 Análise para 20 anos de tempo de ciclo de vida

Tabela 48

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do diesel.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,80	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,091	0,098	0,107	0,116	0,129
Vale de Cambra (I2)	0,115	0,123	0,133	0,145	0,159
Manteigas (I3)	0,145	0,155	0,166	0,180	0,198

Tabela 49

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do Propano canalizado.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,114	0,123	0,132	0,144	0,159
Vale de Cambra (I2)	0,142	0,152	0,163	0,177	0,195
Manteigas (I3)	0,177	0,189	0,203	0,219	0,240

Tabela 50

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do gás natural.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,063	0,068	0,075	0,082	0,092
Vale de Cambra (I2)	0,081	0,088	0,095	0,104	0,116
Manteigas (I3)	0,104	0,112	0,121	0,132	0,146

Tabela 51

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do butano garrafa.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,115	0,123	0,133	0,144	0,159
Vale de Cambra (I2)	0,143	0,152	0,164	0,178	0,195
Manteigas (I3)	0,178	0,189	0,203	0,220	0,240

Tabela 52

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do propano garrafa.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,122	0,130	0,140	0,153	0,168
Vale de Cambra (I2)	0,151	0,161	0,173	0,188	0,206
Manteigas (I3)	0,188	0,200	0,214	0,232	0,253

Tabela 53

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão da lenha.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,60	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,058	0,063	0,069	0,076	0,085
Vale de Cambra (I2)	0,075	0,081	0,088	0,097	0,108
Manteigas (I3)	0,097	0,104	0,113	0,123	0,136

Tabela 54

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão das pellets.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,60	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,070	0,076	0,083	0,091	0,101
Vale de Cambra (I2)	0,090	0,097	0,105	0,114	0,127
Manteigas (I3)	0,114	0,123	0,132	0,144	0,159

5.2.8.2.2 Análise para 40 anos de tempo de ciclo de vida

Tabela 55

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do diesel.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,80	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,127	0,136	0,147	0,160	0,175
Vale de Cambra (I2)	0,158	0,168	0,181	0,196	0,214
Manteigas (I3)	0,196	0,208	0,223	0,241	0,264

Tabela 56

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do propano canalizado.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,157	0,168	0,180	0,195	0,214
Vale de Cambra (I2)	0,193	0,205	0,220	0,238	0,260
Manteigas (I3)	0,238	0,252	0,270	0,291	0,318

Tabela 57

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do gás natural.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,091	0,098	0,106	0,116	0,128
Vale de Cambra (I2)	0,114	0,123	0,132	0,144	0,159
Manteigas (I3)	0,144	0,154	0,165	0,179	0,197

Tabela 58

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do butano garrafa.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,157	0,168	0,180	0,195	0,214
Vale de Cambra (I2)	0,193	0,205	0,220	0,238	0,260
Manteigas (I3)	0,238	0,253	0,270	0,292	0,318

Tabela 59

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do propano garrafa.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,87	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,166	0,177	0,190	0,206	0,226
Vale de Cambra (I2)	0,204	0,217	0,232	0,251	0,274
Manteigas (I3)	0,251	0,266	0,285	0,307	0,334

Tabela 60

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão da lenha.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,60	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,084	0,091	0,099	0,108	0,120
Vale de Cambra (I2)	0,106	0,114	0,123	0,135	0,148
Manteigas (I3)	0,135	0,144	0,155	0,168	0,185

Tabela 61

Análise de sensibilidade ao isolamento térmico variando a eficiência da combustão do pellets.

Concelho	Espessura de isolamento variando a eficiência da combustão				
	0,60	-10%	-20%	-30%	-40%
Mira (I1)	0,100	0,107	0,116	0,127	0,140
Vale de Cambra (I2)	0,125	0,134	0,144	0,157	0,173
Manteigas (I3)	0,157	0,168	0,180	0,195	0,214

Como se pode ver pelas tabelas acima a variação na eficiência da combustão influi mais na espessura de isolamento térmico em climas mais severos e em combustíveis mais caros.

Também se realizou uma análise de sensibilidade ao tempo de retorno do investimento *payback* variando a eficiência de combustão como se pode ver nas seguintes tabelas.

Tabela 62

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão do diesel

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,80	-20%	-40%	0,80	-20%	-40%
Mira	3,2	2,6	2,0	3,9	3,2	2,5
Vale de Cambra	2,6	2,2	1,7	3,3	2,7	2,1
Manteigas	2,2	1,8	1,4	2,7	2,2	1,7

Tabela 63

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão do propano canalizado

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,87	-20%	-40%	0,87	-20%	-40%
Mira	2,6	2,2	1,7	3,3	2,7	2,1
Vale de Cambra	2,2	1,8	1,4	2,7	2,2	1,8
Manteigas	1,8	1,5	1,2	2,3	1,9	1,5

Tabela 64

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão do gás natural canalizado

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,87	-20%	-40%	0,87	-20%	-40%
Mira	4,3	3,5	2,8	5,3	4,3	3,4
Vale de Cambra	3,5	2,9	2,3	4,3	3,6	2,8
Manteigas	2,9	2,3	1,8	3,5	2,9	2,3

Tabela 65

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão do butano garrafa

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,87	-20%	-40%	0,87	-20%	-40%
Mira	2,6	2,2	1,7	3,3	2,7	2,1
Vale de Cambra	2,2	1,8	1,4	2,7	2,2	1,8
Manteigas	1,8	1,5	1,2	2,2	1,9	1,5

Tabela 66

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão do propano garrafa

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,87	-20%	-40%	0,87	-20%	-40%
Mira	2,5	2,1	1,6	3,1	2,6	2,0
Vale de Cambra	2,1	1,7	1,3	2,6	2,1	1,7
Manteigas	1,7	1,4	1,1	2,1	1,8	1,4

Tabela 67

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão da lenha

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,60	-20%	-40%	0,60	-20%	-40%
Mira	4,6	3,8	2,9	5,6	4,6	3,6
Vale de Cambra	3,7	3,1	2,4	4,6	3,8	3,0
Manteigas	3,0	2,5	2,0	3,8	3,1	2,4

Tabela 68

Análise de sensibilidade ao *payback* variando a eficiência de combustão das pellets

Concelho	Eficiência de combustão					
	20 Anos de ciclo de vida			40 Anos de ciclo de vida		
	0,60	-20%	-40%	0,60	-20%	-40%
Mira	4,0	3,2	2,5	4,8	4,0	3,1
Vale de Cambra	3,2	2,7	2,1	4,0	3,3	2,6
Manteigas	2,6	2,2	1,7	3,3	2,7	2,1

Quanto aos valores de *payback*, observa - se que se as eficiências de combustão diminuïrem o valor dos *payback* tendem a diminuir. O valor dos *payback* não varia muito com a variação da eficiência da combustão. Não se encontraram diferenças de *payback* muito superiores a um ano. O que demonstra pouca sensibilidade do *payback* às variações do rendimento da combustão.

5.3 Discussão dos resultados da análise comparativa dos softwares de verificação térmica

Os dois softwares distribuídos gratuitamente são os seguintes:

EPS DL 80 da Associação industrial do poliestireno expandido (ACEPE) – Activação necessária

Preceram RCCTE 2007 da Preceram indústria de construção SA– Download (link directo)

Estes dois softwares foram programados pela empresa Zanet software. O modo de colocação das variáveis é igual, apenas a interface gráfica é diferente. Não são softwares de grande potencial porque não têm liberdade de escolha de materiais de isolamento térmico e de tipos de construção. Por exemplo, no software da ACEPE, o único isolamento térmico disponível é o poliestireno expandido EPS. No software da Preceram, apenas tem como isolamento térmico o ARGEX da Preceram. Por exemplo, não era possível fazer um projecto de verificação do RCCTE (DL 80/2006) utilizando isolamento igual ao que se realizou para o estudo de espessura de isolamento óptima (XPS). No sistema operativo Windows Vista, ambos os programas não dão para gravar os projectos de verificação térmica. Apenas existe a hipótese de imprimir directamente o projecto. Se por ventura se carrega no botão de guardar, exportar ou mesmo sair, ambos os programas ficam bloqueados. A introdução de dados nestes programas torna-se algo trabalhosa principalmente na introdução dos coeficientes equivalentes de envolvente interior (τ), coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) e os valores do factor de obstrução do envidraçado

para cada direcção (F_s). Tem que se saber todos estes factores porque estes programas não são capazes de os determinar ou calcular. Torna-se trabalhoso porque para se chegar a cada coeficiente tem-se que consultar o RCCTE (DL 80/2006) e fazer alguns cálculos para os encontrar. Se os programas tivessem uma base de dados com todos os coeficientes apenas era necessário introduzir as variáveis e tinha-se como resultado os valores pretendidos.

Por exemplo, para o programa determinar o valor do coeficiente ψ numa parede que estivesse em contacto com o solo (ponte térmica linear), apenas era necessária a diferença de nível em relação ao terreno exterior Z (m) e o valor do coeficiente de transmissão de calor U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) da parede. Com estes dois valores o programa recorrendo à sua base de dados já poderia ser capaz de fornecer o coeficiente ψ .

No caso dos coeficientes da envolvente interior (τ) escolhia-se o tipo de espaço não útil e introduzia-se as áreas. A área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil (A_i) e a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior (A_u).

E no caso da determinação do factor de obstrução F_s , tinha-se que introduzir os ângulos dos obstáculos. O ângulo de horizonte (α), para determinar o valor do factor de sombreamento do horizonte (F_h), o ângulo (α) dos elementos horizontais próximos como por exemplo palas de sombreamento para determinar o factor de sombreamento por elementos horizontais (F_o) e o ângulo de elementos verticais de sombreamento (β) para se determinar o factor de sombreamento por elementos verticais (F_f). Depois o valor para F_s é dado pela multiplicação destes três factores $F_s = F_h F_o F_f$.

De seguida mostra-se os valores obtidos para as necessidades de aquecimento e arrefecimento para dois concelhos escolhidos utilizando os dois programas de verificação térmica.

Tabela 69

Resultados do programa EPS DL 80 e da folha de cálculo para as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento.

Necessidades energéticas ($KWh/m^2 \cdot ano$)	Manteigas		Vila Real de Santo António	
	EPS DL 80 ACEPE	Folha de cálculo	EPS DL 80 ACEPE	Folha de cálculo
Inverno - Nic	174,93	177,44	46,96	48,48
Verão - Nvc	13,66	7,93	26,17	25,26

Tabela 70

Resultados do programa RCCTE Preceram e da folha de cálculo para as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento.

Necessidades energéticas (KWh/m ² .ano)	Manteigas		Vila Real de Santo António	
	RCCTE Preceram 2007	Folha de cálculo	RCCTE Preceram 2007	Folha de cálculo
Inverno - Nic	177,90	180,40	47,99	49,50
Verão - Nvc	8,36	7,81	21,81	25,26

Como se pode ver pelas tabelas acima, as diferenças não são muito grandes. A diferença máxima verifica-se entre o software EPS DL 80 da ACEPE e entre a folha de cálculo no concelho de Manteigas nas necessidades energéticas de verão Nvc.

Ao verificar os passos de cálculo na folha de cálculo e nos programas, as únicas diferenças notam-se nos ganhos solares pelos envidraçados, quer para a situação de aquecimento, quer para a situação de arrefecimento. O cálculo das áreas equivalentes dos envidraçados na folha de cálculo e nos programas não têm o mesmo resultado. É esta diferença que influencia os ganhos solares e posteriormente os resultados finais. Segundo o RCCTE (DL 80/2006), a área equivalente deve ser calculada da seguinte forma:

$$A_s = A F_S F_g F_w g_{\perp} \quad (91)$$

Onde A é a área total do envidraçado, F_S é o factor de obstrução, F_g é a fracção envidraçada, F_w é o factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar e g_{\perp} é o factor solar do vão envidraçado para a radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar.

Na estação de aquecimento só se consideram os ganhos solares na orientação sul. A área equivalente na direcção sul, depois de calculada é multiplicada pelo valor da radiação incidente num envidraçado a sul. No programa EPS DL 80 da ACEPE e da Preceram, a área total efectiva na orientação sul é igual a 5,36 m². Na folha de cálculo o mesmo valor toma o valor de 5 m².

De seguida mostram-se os valores das áreas equivalentes e dos ganhos solares na orientação sul para a estação de aquecimento para os dois concelhos em estudo.

Tabela 71

Áreas equivalentes dos envidraçados na estação de aquecimento e respectivos ganhos solares totais em Manteigas

Manteigas	EPS DL 80 ACEPE	RCCTE Preceram 2007	Folha de cálculo
Área efectiva sul (m ²)	5,36	5,36	5,00
Ganhos solares brutos (KWh/ano)	3857,01	3857,01	3601,41

Tabela 72

Áreas equivalentes dos envidraçados na estação de aquecimento e respectivos ganhos solares totais em Vila Real de Santo António

Vila Real de Santo António	EPS DL 80 ACEPE	RCCTE Preceram 2007	Folha de cálculo
Área efectiva sul (m ²)	5,36	5,36	5,00
Ganhos solares brutos (KWh/ano)	2487,77	2487,77	2322,91

Na estação de arrefecimento os dois programas apresentam resultados diferentes entre si e entre a folha de cálculo. A origem das diferenças entre os valores das necessidades energéticas também está presente no cálculo das áreas equivalentes. Neste caso, os ganhos solares são contabilizados em todas as direcções. Para cada direcção será calculada a área equivalente. Depois, essa área equivalente de cada orientação será multiplicada pela radiação incidente nessa orientação, dando origem aos ganhos por orientação e posteriormente aos ganhos totais.

De seguida mostra-se os valores para as áreas equivalentes (A_e) de cada orientação para os dois programas e folha de cálculo.

Tabela 73

Áreas equivalentes dos envidraçados na estação de arrefecimento e respectivos ganhos solares totais em Manteigas

Manteigas	EPS DL 80 ACEPE	RCCTE Preceram 2007	Folha de cálculo
A_e (Norte)	0,73	0,20	0,53
A_e (Sul)	3,42	3,42	2,47
A_e (Este)	1,55	0,87	1,12
A_e (Oeste)	1,55	0,87	1,12
Ganhos Solares Totais (KWh/ano)	2749,66	2069,67	1984,69

Tabela 74

Áreas equivalentes dos envidraçados na estação de arrefecimento e respectivos ganhos solares totais em Vila Real de Santo António

Área equivalente (m)	EPS DL 80 ACEPE	RCCTE Preceram 2007	Folha de cálculo
A_e (Norte)	0,73	0,20	0,53
A_e (Sul)	3,42	3,42	2,47
A_e (Este)	1,55	0,87	1,12
A_e (Oeste)	1,55	0,87	1,12
Ganhos Solares Totais (KWh/ano)	2949,52	2209,59	2128,95

Como se pode ver pelas tabelas acima existe uma discrepância maior do software EPS DL 80 do que do RCCTE Preceram em comparação com a folha de cálculo. Não se consegue explicar o

porquê das áreas serem diferentes, dado que não se sabe que cálculos realizam os programas. Sabe-se sim, que a metodologia de cálculo dos programas aqui comparados não será igual. O que se torna estranho nos programas é não existir diferenciação de estação (Inverno ou Verão) na introdução de dados para o cálculo dos factores solares, para posteriormente calcular as áreas equivalentes. Os dados inseridos nos programas foram os de verão. Ainda se colocaram os factores de inverno em F_S e F_W mas os valores ainda saíam mais distantes dos valores da folha de cálculo. O factor solar g_{\perp} que é pedido na introdução de valores é o do envidraçado. Não se considera se tem protecção solar activada ou cortina interior muito transparente por exemplo. Os factores solares F_S e F_W que são pedidos não têm qualquer indicação a dizer se são os da situação de aquecimento (Inverno) ou de arrefecimento (Verão). Neste aspecto, os dois softwares não estão bem programados. Tem que existir uma introdução de dados dupla, ou seja, a introdução dos dados de Verão e Inverno distintamente separados. Os valores de F_S e F_W da estação de aquecimento são diferentes dos valores da estação de arrefecimento. Como foi dito em cima, o valor do factor solar de obstrução F_S depende dos seguintes factores $F_S = F_h F_o F_f$ e estes têm valores para a situação de Inverno e de Verão. O valor do factor solar g_{\perp} também é diferente nas duas estações de climatização porque no verão tem que ser considerada a existência de um dispositivo de protecção solar. O valor do factor solar de inverno tomará o valor do envidraçado ou da existência de uma cortina interior. O valor do factor solar de verão tomará o valor do resultado da seguinte fórmula:

$$g_{\perp_{ver\tilde{a}o}} = 0,3 g_{\perp_{vidro}} \times 0,7 g_{\perp_{100\%}} \quad (92)$$

Onde o $g_{\perp_{vidro}}$ é o factor solar do envidraçado sem protecção, $g_{\perp_{100\%}}$ é o valor do factor solar com a protecção solar activada. É nestes aspectos que estes softwares pecam em pouco rigor, originando resultados bem diferentes. Não é aconselhado o uso destes softwares em edifícios com grandes áreas envidraçadas dado que os resultados iriam ser bastante diferentes dos resultados reais. Tirando este aspecto os softwares são fiáveis em todos os restantes cálculos.

6. Conclusões

6.1 Sumário

Com a realização deste trabalho ficou-se a saber que é importante pensar no futuro da energia. O preço da energia não pára de subir. Tem que existir sensibilidade para economizar energia e pensar que o futuro é incerto quando se construir ou comprar uma casa. É preferível comprar um edifício com qualidade térmica elevada mesmo sabendo que o custo será superior. Este investimento inicial na qualidade térmica do edifício será rapidamente compensado nunca ultrapassando o tempo de vida do edifício. Neste trabalho foram calculadas as espessuras ótimas de isolamento térmico para as diferentes zonas climáticas de Portugal continental (I1, I2 e I3). O resultado destas espessuras também poderá ser aplicado nas ilhas dos arquipélagos dos Açores e Madeira consoante a região climática (I1, I2 e I3).

6.2 Conclusões Gerais

A espessura óptima (m) do ponto de vista económico é dada apenas pela seguinte fórmula:

$$x_{opt} = \left(\frac{86400 DD C_F PWF k}{H_u C_{iso} \eta} \right)^{1/2} - R_{wt} k \quad (93)$$

Onde DD é o número de graus - dias de aquecimento, C_F é o custo de combustível em €/quantidade, PWF fornece o valor equivalente de anos a multiplicar ao custo anual de energia para obter o custo de energia no tempo de ciclo de vida, k (W/m.°C) é a condutividade térmica do isolamento térmico, H_u é o poder calorífico inferior em J/quantidade (Quantidade que poderá ser litros, m³, Kg de entre outros conforme o tipo de combustível), C_{iso} será o custo do isolamento em €/m³, η é o rendimento do sistema de aquecimento e R_{wt} (m².°C/W) é a resistência total da parede excluindo a resistência térmica do isolamento.

O coeficiente de transmissão de calor óptimo (W/m².°C) do ponto de vista económico é dado pela seguinte fórmula:

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{\eta H_u C_{iso} k}{86400 DD C_F PWF}} \quad (94)$$

Chegou – se à conclusão que não adianta compensar na espessura de isolamento térmico as perdas devido a maiores áreas envidraçadas, ou seja, o isolamento óptimo não depende da área envidraçada. Ao reduzir o calor perdido pela envolvente opaca, aumentando a espessura de isolamento para compensar o calor perdido pela envolvente envidraçada, só se está a aumentar os custos totais. Não compensa aumentar em demasia a espessura de isolamento térmico porque o comportamento do coeficiente global de transferência de calor L (W/°C) não é linear. Para

espessuras elevadas, o aumento de espessura de isolamento térmico não se reflecte no coeficiente global de transferência de calor.

O cálculo da espessura óptima de isolamento térmico em Portugal, ao ser projectada para a estação de aquecimento, também cumpre os requisitos da estação de arrefecimento. Para provar esta afirmação foram escolhidos dois concelhos de Portugal continental que apresentassem o maior consumo de aquecimento e o maior consumo de arrefecimento. O concelho que apresenta maiores necessidades energéticas de aquecimento é Manteigas que pertence às seguintes zonas climáticas I_3 e V_1 e possui 3000 graus – dias. O concelho que apresenta maiores necessidades energéticas de arrefecimento é Vila Real de Santo António que pertence às seguintes zonas climáticas I_1 e V_3 e possui 1060 graus – dias. Foram calculadas as necessidades energéticas para estes dois concelhos e verificou-se que as necessidades de aquecimento são sempre superiores.

Para o estudo da espessura óptima de isolamento térmico, foram escolhidos três concelhos que representam as três zonas climáticas de inverno I_1 , I_2 e I_3 . Os concelhos escolhidos foram Mira (I_1), Vale de Cambra (I_2) e Manteigas (I_3). Estes são os concelhos representativos das três zonas climáticas porque são os concelhos que possuem maior valor de graus dias de aquecimento de cada região climática.

Para o estudo da espessura óptima de isolamento térmico foram feitas duas análises. Uma para tempo de ciclo de vida de 20 anos e outra para 40 anos. Para 20 anos trata-se de uma análise provisória, ou seja, passados 20 anos realizava-se outro cálculo do isolamento óptimo e verificava-se se era necessário aplicar mais isolamento. A análise de 40 anos é definitiva dado que é aproximadamente o tempo útil de um edifício.

Os coeficientes de transmissão de calor óptimos U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) do ponto de vista económico estão algo longe dos recomendados pelo RCCTE (DL 80/2006). Por exemplo, na região climática I_1 , o coeficiente recomendado para zonas verticais é $U = 0,70$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$). O coeficiente óptimo calculado para o combustível mais barato (lenha) para a análise de 20 anos é 46% menor e para 40 anos é 58% menor. Para o combustível mais caro (propano garrafa de 45 Kg), para a análise de 20 anos é 68% menor e para 40 anos é 75% menor. Na região climática I_2 o coeficiente recomendado para zonas verticais é $U = 0,60$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$). O coeficiente óptimo calculado para o combustível mais barato para a análise de 20 anos é 54% menor e para 40 anos é 58% menor. Para o combustível mais caro para a análise de 20 anos é 68% desse valor e para 40 anos é 75% desse valor. Na região climática I_3 o coeficiente recomendado para zonas verticais é $U = 0,50$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$). O coeficiente óptimo calculado para o combustível mais barato para a análise de 20 anos é 46% menor e para 40 anos é 58% menor. Para o combustível mais caro para a análise de 20 anos é 68% menor e para 40 anos é 75% menor.

O valor de $L(W/^\circ C)$ sobe com o aumento dos valores de AE e RA. Além disso, nota-se que para a mesma renovação de ar, a diferença de valores de L de vidro simples para vidro duplo é

maior para áreas envidraçadas maiores. O valor de L é aproximadamente menor 8% no vidro duplo para AE de 20% e 16% para AE de 50%.

A partir dos gráficos dos custos totais, pode-se concluir que o isolamento óptimo é atingido mais rapidamente para combustíveis mais baratos, climas menos severos e tempos de ciclo de vida mais curtos. Pelas curvas dos gráficos, vê-se claramente a diferença entre os combustíveis mais caros e mais baratos. Nos combustíveis mais baratos, depois de atingirem o mínimo dos custos totais, vê-se claramente que depois os custos totais sobem rapidamente com o aumento de espessura de isolamento. Nos gráficos dos combustíveis mais caros, os custos totais não sobem tão rapidamente com o aumento da espessura de isolamento térmico.

Para valores de graus dias elevados, o valor do *payback* é mais baixo dado que nestes climas se conseguem poupanças mais elevadas do que em climas menos severos aplicando isolamento óptimo na envolvente do edifício. Por outro lado, os combustíveis mais baratos têm valores de *payback* mais elevados dado que não se consegue fazer poupanças tão grandes como nos combustíveis mais caros. O valor do *payback*, para tempos de ciclo de vida maiores, também será maior. Para um tempo de ciclo de vida maior, a espessura de isolamento será também maior, levando assim a um investimento inicial maior.

Com a aplicação do isolamento óptimo obtêm-se poupanças económicas anuais. Com estas poupanças económicas obtém-se o retorno do investimento do isolamento térmico passado algum tempo. Estas poupanças e valores de *payback* foram calculados em relação ao edifício sem isolamento térmico. Na zona climática I_1 para 20 anos de tempo de ciclo de vida, conseguem-se gerar poupanças de 743,2€ a 2304,1€ e obter o retorno do investimento em 2,5 a 4,6 anos. Na região I_2 conseguem-se gerar poupanças de 1082,8€ a 3296,6€ e obter o retorno do investimento de 2,1 a 3,7 anos. Na região I_3 conseguem-se gerar poupanças de 1600,8€ a 4799,7€ e obter o retorno do investimento em 1,7 a 3,0 anos. Para 40 anos de tempo de ciclo de vida, na zona climática I_1 conseguem-se gerar poupanças de 785,9 € a 2375,6 € e obter o retorno do investimento em 3,1 a 5,6 anos. Na região I_2 conseguem-se gerar poupanças de 1133,4 € a 3381,3 € e obter o retorno do investimento em 2,6 a 4,6 anos. Na região I_3 conseguem-se gerar poupanças 1661,2 € a 4900,9 € e obter o retorno do investimento em 2,1 a 3,8 anos.

A aplicação de isolamento óptimo num edifício que já tenha isolamento térmico (p.e. 40mm de espessura) é viável para todas as regiões climáticas no tempo de ciclo de vida de 40 anos. No tempo de ciclo de vida de 20 anos a aplicação de isolamento óptimo na região I_1 não é capaz de gerar poupanças anuais muito grandes e por isso tem valores de *payback* elevados. Por exemplo utilizando gás natural como combustível, ultrapassa-se o valor de tempo de vida do projecto. Para as restantes formas de energia também não se torna interessante a aplicação de isolamento óptimo dado que o tempo de retorno de investimento anda muito próximo do tempo do ciclo de vida.

Quanto à espessura óptima de isolamento térmico, esta é mais susceptível às variações dos preços dos combustíveis mais caros do que os mais baratos. O mesmo acontece com a variação da eficiência de combustão. Conclui-se que os combustíveis mais caros tornam a espessura óptima de isolamento térmica mais sensível a variações quer do preço de energia quer da eficiência de combustão.

Quanto aos valores de tempo de retorno do investimento (*payback*), estes são maiores se os combustíveis aumentarem e se as eficiências de combustão diminuírem. No cálculo dos valores de *payback*, a poupança foi calculada considerando o preço da energia no primeiro ano. O valor dos *payback* não varia muito com a variação dos preços de energia e da eficiência da combustão. Não se encontraram diferenças de *payback* muito superiores a dois anos. Demonstra, então, pouca sensibilidade às variações do preço da energia e do rendimento da combustão.

Na comparação dos dois softwares de verificação térmica disponíveis gratuitamente, EPS DL 80 da Associação industrial do poliestireno expandido (ACEPE) e Preceram RCCTE 2007 da Preceram indústria de construção SA com a folha de cálculo VERCOTERM programada pelo professor António Raimundo, verificou-se que estes softwares não têm grande potencial, dado que não são capazes de guardar os projectos de verificação térmica. Apenas a opção de imprimir se torna viável. Os resultados obtidos pelos programas não são fiáveis, porque os resultados para as áreas equivalentes dos envidraçados nas duas estações de climatização são diferentes dos da folha de cálculo. Nos programas não existe indicação de que factores (Inverno ou Verão) são para introduzir nos factores de obstrução F_s e factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar F_w . Foram colocados os factores de Verão, pois os de Inverno ainda geravam uma diferença maior. Os programas deveriam ter a introdução dos factores de inverno para calcular a área equivalente a sul dos envidraçados e também a introdução dos dados de Verão para o cálculo das áreas equivalentes em cada direcção.

Como as áreas equivalentes dos envidraçados da estação de aquecimento e arrefecimento não são iguais comparativamente à folha de cálculo, os ganhos solares também são diferentes, levando a resultados díspares para as necessidades energéticas de aquecimento N_{ic} e arrefecimento N_{vc} . Não se aconselha o uso destes softwares em edifícios com áreas envidraçadas elevadas.

6.3 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros aconselha-se:

- O estudo do coeficiente óptimo de transmissão de calor dos envidraçados de um edifício em Portugal. É de extrema importância obter um nível de qualidade térmica num edifício. Pelos envidraçados perde-se muita energia e existirá um envidraçado óptimo do ponto de vista económico que minimiza os custos totais de energia. Era interessante aplicar o isolamento óptimo e o envidraçado óptimo num edifício para reduzir o consumo energético.
- O estudo do nível óptimo de isolamento em Portugal considerando que o edifício utiliza painéis solares para aquecimento. Começa-se a utilizar em Portugal esta forma de energia, logo seria interessante calcular o isolamento óptimo para as diferentes regiões do país considerando esta forma de energia associada a outras.
- O estudo da construção do edifício económica para assegurar o nível óptimo de isolamento térmico. Era interessante assegurar o nível óptimo de isolamento térmico da forma mais económica do ponto de vista construtivo.

Referências

- [1]- Comissão propõe acção sobre rendimento energético nos edifícios
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/01/604&format=HTML&aged=1&language=PT&guiLanguage=en>
- [2] - DL 80/2006 – RCCTE Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios
http://www.dislivro.pt/adendas/80_2006.pdf
- [3] – Declaração do bastonário da ordem dos engenheiros sobre a entrada em vigor do RCCTE.
http://jn.sapo.pt/2005/05/22/economia/Qualidade_energ_tica_pode_aumen.html
- [4] - Ali Bolattürk. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, 2007, Building and Environment 43 (2008) 1055–1064
- [5] - Gül Koclar Oral, Zerrin Yilmaz. The limit U values for building envelope related to building form in temperate and cold climatic zones, 2001, Building and Environment 37 (2002) 1173 – 1180
- [6] - Ö. Altan Dombayci, Mustafa Gölcü e Yasar Pancar. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, 2005, Applied Energy 83 (2006) 921–928
- [7] - Kemal Çomakli e Bedri Yükel. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, 2002, Applied Thermal Engineering 23 (2003) 473–479
- [8] - Nuri Sisman, Emin Kahya, Nil Aras e Haydar Aras. Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions, 2007, Energy Policy 35 (2007) 5151–5155
- [9] - Ali Bolattürk. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, 2005, Applied Thermal Engineering 26 (2006) 1301–1309
- [10] - O. Kaynakli. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, 2007, Renewable Energy

[11] - Hasan A. Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, Applied Energy 63 (1999) 115±124

[12] – Laboratório Nacional Engenharia Civil (LNEC) Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios **ITE – 50**

[13] - Preços dos combustíveis praticados em Portugal
<http://www.dgge.pt/>

[14] - Preços da lenha – Carvoaveiro
<http://www.hotfrog.pt/Empresas/Carvoaveiro-Comercio-e-Industria-de-Carvo-o-e-Lenha-Lda>

[15] - Preço das pellets - Enerpelgy, Lda
<http://www.hotfrog.pt/Empresas/Enerpelgy-Lda>

[16] - Preços do gás natural
<http://www.edpgas.pt/main.php?id=103&sub=23&sub2=27&sub3=34>

[17] - Preço da electricidade
http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Clients/Regulated_market/Tariffs/BTN_tariffs/BTN_tariffs_between_2.3_and_20.7.htm

[18] - Pci do gasóleo de aquecimento
http://www.galpenenergia.com/Galp+Energia/Portugues/Produtos+e+Servicos/em+casa/gasoleo+de+aquecimento/produtos/diversos/FAQ_Gasoleo_Aquecimento.htm

[19] - Pci dos gases
<http://www.energaia.pt/poupe/agua.php>

[20] - PCI da lenha eucalipto
<http://www.calorecia.com.br/fam.htm>

[21] - PCI das pellets
<http://www.hotfrog.pt/Empresas/Enerpelgy-Lda>

[22] - Preços e características do isolamento
<http://www.iberfibran.pt/PDFS/20061220162250.pdf>
<http://www.iberfibran.pt/calculo.asp?seccao=calculo>

[23] - Análise económica - Taxa de juro euribor
http://www.agenciafinanceira.iol.pt/noticia.php?id=942925&div_id=1729

[24] - Análise económica - Taxa de inflação
<http://economiafinancas.com/2008/01/previsao-taxa-de-inflacao-para-2008-nos-26/>


[25] - Tarifas fixas de exploração Propano canalizado
http://www.galpenenergia.com/NR/rdonlyres/5AB37931-07DC-476D-99DA-1574A72B7377/0/Tabela_Precos_Domestico_Propano_Canalizado_25_02_2008.pdf

[26] - Simulador de potência a contratar electricidade
<http://www.erse.pt/CmsERSE/PresentationLayer/Templates/tplConteudo.aspx?NRMODE=Published&NRORIGINALURL=%2fvpt%2fatendimentoonline%2fsimuladorFlash%2f&NRNODEGUID=%7bE015AB8A-5C37-468E-8ED9-2D77B557C5DE%7d&NRCACHEHINT=Guest#>

Anexos

1 – Resultados das Simulações térmicas do programa EPS DL 80 da ACEPE

As seguintes páginas têm os resultados das simulações efectuadas no programa EPS DL 80 da ACEPE. As seguintes páginas são comuns aos dois concelhos em estudo (Vila Real de Santo António e Manteigas).



F.R.A.C.Ç.Ã.O. -----» Campo

Paredes Exteriores Totais 80.00 m2 e 26.40 W/°C

Paredes exteriores [FC IV.1b]	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
»----» DUPLA DE 15 Cx 5 (EPS 40 mm)	80.00 m2	0.330 W/m2°C	26.40 W/°C
(o)----» N	28.00 m2		
(o)----» S	20.00 m2		
(o)----» W	16.00 m2		
(o)----» E	16.00 m2		

Pavimentos em C/ com o Exterior (Totais) 20.00 m2 e 6.80 W/°C

Pavimentos exteriores [FC IV.1b]	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
»----» L 1 // Bet de 15 EPS	20.00 m2	0.340 W/m2°C	6.80 W/°C
(o)----» Descrição (Aparece nas listagens)	20.00 m2		

Coberturas Exteriores (Totais) 20.00 m2 e 7.00 W/°C

Coberturas exteriores [FC IV.1b]	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
»----» Descrição técnica a usar	20.00 m2	0.350 W/m2°C	7.00 W/°C
(o)----» Indique uma descrição	20.00 m2		

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº **04**

FRACÇÃO -----> Campo



Paredes e Pavimentos c/ cont. com o solo (Totais) 36.00 m e 27.00 W/°C

Paredes e Pavimentos em contacto com o solo	[FC IV.1b]	B [m]	Psi [W/m°C]	Psi.A [W/°C]
»---» Cave / Escadas		18.00 m	0.3 W/m°C	5.40 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		
»---» Cave / Escadas		18.00 m	1.2 W/m°C	21.60 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		

Pontes Térmicas Lineares (Totais) 183.00 m e 75.42 W/°C

Pontes Térmicas lineares Ligações entre :	[FC IV.1b]	B [m]	Psi [W/m°C]	Psi.A [W/°C]
»---» Fachada Pavimentos com Térreos (Totais)		18.00 m	e	14.40 W/°C
(o)---» Cave		18.00 m	0.8 W/m°C	14.40 W/°C
(o)---» Descrição que aparece nas listagens		18.00 m		
»---» Fachada com Pavimentos ---» Totais		18.00 m	e	11.70 W/°C
(o)---» Ligação Piso		18.00 m	0.65 W/m°C	11.70 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		
»---» Fachada com Pavimentos Intermédios ---» Totais		44.00 m	e	6.60 W/°C
(o)---» Piso superior		44.00 m	0.15 W/m°C	6.60 W/°C
(o)---» Indique um nome		44.00 m		
»---» Fachada com Coberturas Inclínadas ---» Totais		44.00 m	e	22.00 W/°C
(o)---» Ligação Cobertura		44.00 m	0.5 W/m°C	22.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		44.00 m		
»---» Fachada com Varanda ou Terraço ---» Totais		4.00 m	e	1.72 W/°C
(o)---» Varanda V1		4.00 m	0.43 W/m°C	1.72 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		4.00 m		
»---» Pontes Duas Paredes Verticais ---» Totais		15.00 m	e	3.00 W/°C
(o)---» Parede Superior		15.00 m	0.20 W/m°C	3.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		15.00 m		
»---» Caixa de Estore ---» Totais		10.00 m	e	10.00 W/°C
(o)---» Estore E1,E2,E3		10.00 m	1 W/m°C	10.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		10.00 m		
»---» Padieira Ombreira ---» Totais		30.00 m	e	6.00 W/°C
(o)---» Peitoril P1		30.00 m	0.20 W/m°C	6.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		30.00 m		
»---» Outras Pontes ---» Totais		0.00 m	e	0.00 W/°C
(o)---»		0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C

Logo do Utilizador

[25% x 96%]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 05

FRACÇÃO -----» Campo



Perdas Envolvente Interior (Totais) 164.00 m e 51.88 W/°C

Perdas na Envolvente Interior [FC IV.1b]
Ligações entre :

	Área [m2]	U [W/m2°C]	Tau	A.U.Tau [W/°C]
»---» Paredes C/ Não úteis Totais ---»»	30.00 m2	0.330 W/m2°C	30.00 m e 7.92 W/°C	0.8 7.92 W/°C
(o)---» C15-8AG-C15	30.00 m			
(o)---» Indique uma descrição	30.00 m			
»---» Geraís Pavimentos C/ Não úteis Totais ---»»	40.00 m2	0.340 W/m2°C	40.00 m2 e 9.52 W/°C	0.7 9.52 W/°C
(o)---» Laje L2 -EPS 26+15	40.00 m2			
(o)---» Indique uma descrição	40.00 m2			
»---» C/ Coberturas n/ úteis Totais ---»»	80.00 m2	0.33 W/m2°C	80.00 m e 26.40 W/°C	1 26.40 W/°C
(o)---» Laje L2 - EPS 26+15	80.00 m2			
(o)---» Indique uma descrição	80.00 m2			
»---» Vãos C/contacto n/úteis Totais ---»»	4.00 m2	2.1 W/m2°C	4.00 m2 e 5.04 W/°C	0.60 5.04 W/°C
(o)---» Janela J1	4.00 m2			
»---» Pontes Tau > 0.7 Paredes C// n/úteis Totais ---»»	10.00 m2	0.3 W/m2°C	10.00 m2 e 3.00 W/°C	0.6 3.00 W/°C
(o)---» Sotão do tipo 1	10.00 m			

Vãos Envidraçados Exteriores Totais ---»»» 20.00 m2 e 42.00 W/°C

Vão Envidraçados exteriores [FC IV.1b]
[PERDAS]

	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]
Envidraçados Verticais Total---»»» 20.00 m2 e 42.00 W/°C			
(o)---» N	2.00 m2	2.1 W/m2°C	4.20 m2
(o)---» S	10.00 m2	2.1 W/m2°C	21.00 m2
(o)---» E	4.00 m2	2.1 W/m2°C	8.40 m2
(o)---» W	4.00 m2	2.1 W/m2°C	8.40 m2
Envidraçados Horizontais Totais ---»»» 0.00 m2 e 0.00 W/°C			
(o)---»	0.00 m2	W/m2°C	0.00 m2

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000


Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 06

As seguintes páginas, com os respectivos resultados, apenas dizem respeito ao concelho de Manteigas.



FRACÇÃO -----> Campo

FOLHA DE CALCULO FC IV.1e

Ganhos Solares

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m2) 5.36 m2

Radiação Incidente num envidraçado a sul (G S u l)

[Zona]
(kWh / m2.mês - do quadro 8 (Anexo III))-----> 90.00 GSul (kWh/m2 . mês)

Duração da Estação de Aquecimento (meses) 8.00 meses

Ganhos Solares Brutos (kWh / ano) 3857.01 kWh / ano

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 4.00W/m2

Duração da Estação de Aquecimento (meses) 8.00 meses

Área Útil de Pavimento - 100.00 m2

Ganhos Internos Líquidos (W .meses/ano) - 3200.00 W .meses
[x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]

Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)- 2304.00 kWh / ano

Ganhos Totais Úteis

GAMA = (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) / Necessidades Brutas de Aquecimento
Gama = 0.26 -----> ETA = 1.00

Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ----> (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) * ETA

GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---> 6144.93 kWh / ano

Logo do Utilizador
[25 x 95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº **07**

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FC IV.2

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

Perdas térmicas associadas :	W / °C
Envolvente Exterior (FC IV1.a)	142.62
Envolvente Interior (FC IV1.b)	51.88
Vãos Envidaçados (FC IV1.c)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Coefficiente Global de Perdas (W / °C) 328.30

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----> 3000.00

24h / 1000 x 0.024 kh =
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 23637.60

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 6144.93 kWh/ano

Necessidades de Aquecimento : 17492.67

/ Área Útil de pavimento = 100.00 m2

NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m2 .ano) 174.93

NI (Necessidades Máximas (kWh / m2 .ano) 179.61

VERIFICA

Logo do Utilizador

[25x95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 08

FRACÇÃO -----> Campo



FOLHA DE CALCULO FC V.1a

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas : W / °C

Paredes Exteriores (FC IV1.a)	26.40
Pavimentos Exteriores (FC IV1.a)	6.80
Coberturas Exteriores (FC IV1.b= FC IV1.a)	7.00
Envidracados Exteriores (FC V1.b)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 174.00 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 19.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 6.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 1044.00 W

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =

Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 3056.83 kWh/ano

Logo do Utilizador

[285 x 95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Telex : 000000000000000000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 09

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FCV.1c

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	3.70 W/°C x 200.00 kWh/m2 =	739.20
Norte-Este [NE] ----->	0.00 W/°C x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	2.11 W/°C x 420.00 kWh/m2 =	887.04
Sul-Este [SE] ----->	0.00 W/°C x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	2.64 W/°C x 380.00 kWh/m2 =	1003.20
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 W/°C x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	2.11 W/°C x 420.00 kWh/m2 =	887.04
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 W/°C x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	2.72 W/°C x 730.00 kWh/m2 =	1985.60

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 5502.08 kWh /m2 /°C * W

Condutância ---->> 1 / 25 W /(°C .m2) = 0.04 x = 220.08 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.c ----- > 220.08 kWh

Logo do Utilizador

[156 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 10

FRACÇÃO -----> Campo



FOLHA DE CALCULO FCV.1d

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.73 m2 x 200.00 kWh/m2 =	146.00
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	1.55 m2 x 420.00 kWh/m2 =	651.00
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	3.42 m2 x 380.00 kWh/m2 =	1299.60
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	1.55 m2 x 420.00 kWh/m2 =	651.00
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 730.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 2749.66 kWh

(Envidraçados)

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.d ----- > 2749.66 kWh

Logo do Utilizador

[126 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 11

FRACÇÃO -----> Campo



FOLHA DE CALCULO FCV.1e

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 4.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 100.00 m2

Ganhos Internos Brutos
[400.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 1171.20 kWh

FOLHA DE CALCULO FCV.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

2749.66 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
220.08 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
1171.20 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 4140.95 kWh
Total FC V1.f

Logo do Utilizador

[256x96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 12

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FCV.1g

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

4140.95 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

3056.83 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

GAMA = (Ganhos) / (Perdas) = a / b = 1.35

Inercia Tipo (Forte) -----> ETA = 0.67

ETA --> Factor de ganhos solares ---> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 4140.95 x 0.33 (kWh)

Necessidades brutas de arrefecimento = 1365.90 k W h

Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h

TOTAL = 1365.90 k W h

100.00 m2 ---> Área util da fracção
13.66 Nvc ---> kWh / m2
16.00 NV ---> kWh / m2

VERIFICA

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000


E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 13

As seguintes páginas, com os respectivos resultados, apenas dizem respeito ao concelho de Vila Real de santo António

FRACÇÃO -----> Campo



FOLHA DE CALCULO FC IV.1e

Ganhos Solares

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m2)	5.36 m2
Radiação Incidente num envidraçado a sul (G S u l)	
[Zona] (kWh / m2.mês - do quadro 8 (Anexo III))----->	108.00 GSul (kWh/m2 . mês)
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	4.30 meses
Ganhos Solares Brutos (kWh / ano)	2487.77 kWh / ano

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)-	4.00W/m2
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	4.30 meses
Área Útil de Pavimento -	100.00 m2
Ganhos Internos Liquidos (W .meses/ano) -	1720.00 W .meses
[x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]	
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)-	1238.40 kWh / ano

Ganhos Totais Úteis

GAMA = (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) / Necessidades Brutas de Aquecimento
Gama = 0.45 -----> ETA = 0.98

Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ---> (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) * ETA

GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---> 3655.54 kWh / ano

Logo do Utilizador
[75x 95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

TIF : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº **07**

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FC IV.2

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

Perdas térmicas associadas : W / °C

Envolvente Exterior (FC IV1.a)	142.62
Envolvente Interior (FC IV1.b)	51.88
Vãos Envidaçados (FC IV1.c)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Coefficiente Global de Perdas (W / °C) 328.30

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----> 1060.00

24h / 1000 x 0.024 kh =
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 8351.95

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 3655.54 kWh/ano

Necessidades de Aquecimento : 4696.42

/ Área Útil de pavimento = 100.00 m2

NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m2 .ano) 46.96

NI (Necessidades Máximas (kWh / m2 .ano) 179.61

VERIFICA

Logo do Utilizador

[286 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 08

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FC V.1a

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas :	W /°C
Paredes Exteriores (FC IV1.a)	26.40
Pavimentos Exteriores (FC IV1.a)	6.80
Coberturas Exteriores (FC IV1.b= FC IV1.a)	7.00
Envidracados Exteriores (FC V1.b)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 174.00 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 23.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 2.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 348.00 W

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30)= 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =

Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 1018.94 kWh/ano

Logo do Utilizador

[150x96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 09

FRACÇÃO -----> Campo



FOLHA DE CALCULO FCV.1c

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] -----> 3.70 W/°C x 210.00 kWh/m2 = 776.16
Norte-Este [NE] -----> 0.00 W/°C x 330.00 kWh/m2 = 0.00
Este [E] -----> 2.11 W/°C x 460.00 kWh/m2 = 971.52
Sul-Este [SE] -----> 0.00 W/°C x 460.00 kWh/m2 = 0.00
Sul [S] -----> 2.64 W/°C x 400.00 kWh/m2 = 1056.00
Sul-Oeste [SW] -----> 0.00 W/°C x 470.00 kWh/m2 = 0.00
Oeste [W] -----> 2.11 W/°C x 460.00 kWh/m2 = 971.52
Norte-Oeste [NW] -----> 0.00 W/°C x 330.00 kWh/m2 = 0.00
Horizontal [H] -----> 2.72 W/°C x 820.00 kWh/m2 = 2230.40

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 6005.60 kWh /m2 /°C * W

Condutância --->> 1 / 25 W /(°C .m2) = 0.04 x = 240.22 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.c -----> 240.22 kWh

Logo do Utilizador

[28x9x]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Telex : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 10

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FC V.1d

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.73 m2 x 210.00 kWh/m2 =	153.30
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 330.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	1.55 m2 x 460.00 kWh/m2 =	713.00
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 460.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	3.42 m2 x 400.00 kWh/m2 =	1368.00
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	1.55 m2 x 460.00 kWh/m2 =	713.00
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 330.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 820.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 2949.52 kWh

(Envidraçados)

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.d ----- > 2949.52 kWh

Logo do Utilizador

[256x96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 11

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FC V.1e

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 4.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 100.00 m2

Ganhos Internos Brutos
[400.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 1171.20 kWh

FOLHA DE CALCULO FC V.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

2949.52 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
240.22 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
1171.20 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 4360.95 kWh
Total FC V1.f

Logo do Utilizador

[156 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@email.pt

www.site.pt

Nº 12

FRACÇÃO -----» Campo



FOLHA DE CALCULO FCV.1g

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

4360.95 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

1018.94 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

GAMA = (Ganhos) / (Perdas) = a / b = 4.28

Inercia Tipo (Forte) -----> ETA = 0.40

ETA --> Factor de ganhos solares ----> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 4360.95 x 0.60 (kWh)

Necessidades brutas de arrefecimento = 2616.57 k W h

Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h

TOTAL = 2616.57 k W h

100.00 m2 ---> Área util da fracção
26.17 Nvc ---> kWh / m2
32.00 NV ---> kWh / m2

VERIFICA

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

TIF : +000 000 000 000

Idade : 00-00-00-00-00-00


E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 13

2 – Resultados das simulações térmicas do programa Preceram RCCTE 2007

As seguintes páginas têm os resultados das simulações efectuadas no programa Preceram RCCTE 2007. As seguintes páginas são comuns aos dois concelhos em estudo (Vila Real de Santo António e Manteigas).

F R A C Ç Ã O -----» 1.º Dto				
Paredes Exteriores	Totais	80.00 m2	e	28.80 W/°C
Paredes exteriores [FC IV.1b]				
	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]	
»---» PAREDE DUPLA DE 15 COM Cx 8 (Argex)	80.00 m2	0.360 W/m2°C	28.80 W/°C	
(o)---» N	28.00 m2			
(o)---» S	20.00 m2			
(o)---» E	16.00 m2			
(o)---» W	16.00 m2			
Pavimentos em C/ com o Exterior (Totais)	20.00 m2	e	6.80 W/°C	
Pavimentos exteriores [FC IV.1b]				
	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]	
»---» Laje L2 - 2v3 -22 -26 // Bet de 15 (Argex)	20.00 m2	0.340 W/m2°C	6.80 W/°C	
(o)---» Indique uma descrição	20.00 m2			
Coberturas Exteriores (Totais)	20.00 m2	e	7.14 W/°C	
Coberturas exteriores [FC IV.1b]				
	Área [m2]	U [W/m2°C]	U.A [W/°C]	
»---» Cob Le2 . Ripado Telha Lusa Campos	20.00 m2	0.357 W/m2°C	7.14 W/°C	
(o)---» Indique uma descrição	20.00 m2			
<div> <div> Logo do Utilizador  </div> <div> Nome do Utilizador Morada do Utilizador Codigo-Postal e Localidade </div> <div> Tlf : +000 000 000 000 Fax : +000 000 000 000 E-mail : Email@mail.pt www.site.pt </div> <div> Nº 04 </div> </div>				

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

Paredes e Pavimentos c/ cont. com o solo (Totais) 36.00 m e 27.00 W/°C

Paredes e Pavimentos em contacto com o solo	[FC IV.1b]	B [m]	Psi [W/m°C]	Psi.A [W/°C]
»---» Cave / Escadas		18.00 m	0.3 W/m°C	5.40 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		
»---» Cave / Escadas		18.00 m	1.2 W/m°C	21.60 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		

Pontes Térmicas Lineares (Totais) 183.00 m e 75.42 W/°C

Pontes Térmicas lineares Ligações entre :	[FC IV.1b]	B [m]	Psi [W/m°C]	Psi.A [W/°C]
»---» Fachada Pavimentos com Térreos (Totais)		18.00 m		14.40 W/°C
(o)---» Cave / Escadas		18.00 m	0.8 W/m°C	14.40 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		
»---» Fachada com Pavimentos ---» Totais		18.00 m	18.00 m	e 11.70 W/°C
(o)---» Ligação Piso		18.00 m	0.65 W/m°C	11.70 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		18.00 m		
»---» Fachada com Pavimentos Intermédios ---» Totais		44.00 m		e 6.60 W/°C
(o)---» Piso superior		44.00 m	0.15 W/m°C	6.60 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		44.00 m		
»---» Fachada com Coberturas Inclínadas ---» Totais		44.00 m		e 22.00 W/°C
(o)---» Ligação Cobertura		44.00 m	0.5 W/m°C	22.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		44.00 m		
»---» Fachada com Varanda ou Terraço ---» Totais		4.00 m		e 1.72 W/°C
(o)---» Varanda V1		4.00 m	0.43 W/m°C	1.72 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		4.00 m		
»---» Pontes Duas Paredes Verticais ---» Totais		15.00 m		e 3.00 W/°C
(o)---» Parede Superior		15.00 m	0.20 W/m°C	3.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		15.00 m		
»---» Caixa de Estore ---» Totais		10.00 m		e 10.00 W/°C
(o)---» Estore E1,E2,E3		10.00 m	1 W/m°C	10.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		10.00 m		
»---» Padieira Ombreira ---» Totais		30.00 m		e 6.00 W/°C
(o)---» Peitoril P1		30.00 m	0.2 W/m°C	6.00 W/°C
(o)---» Indique uma descrição		30.00 m		
»---» Outras Pontes ---» Totais		0.00 m		e 0.00 W/°C
(o)---»		0.00 m	W/m°C	0.00 W/°C

Logo do Utilizador

[156 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 05

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

Perdas Envolvente Interior (Totais) 164.00 m e 53.48 W/°C

Perdas na Envolvente Interior [FC IV.1b]
Ligações entre :

	Área [m ²]	U [W/m ² °C]	Tau	A.U.Tau [W/°C]
»---» Paredes C/ Não úteis Totais ---»»			30.00 m e	8.64 W/°C
(o)---» C15-8AG-C15	30.00 m ²	0.360 W/m ² °C	0.8	8.64 W/°C
(o)---» Indique uma descrição	30.00 m			
»---» Gerais Pavimentos C/ Não úteis Totais ---»»			40.00 m ² e	9.52 W/°C
(o)---» Laje L2 - Argex 26+15	40.00 m ²	0.340 W/m ² °C	0.7	9.52 W/°C
(o)---» Indique uma descrição	40.00 m ²			
»---» C/ Coberturas n/ úteis Totais ---»»»			80.00 m ² e	27.28 W/°C
(o)---» Laje L2 - Argex 26+15	80.00 m ²	0.341 W/m ² °C	1	27.28 W/°C
(o)---» Indique uma descrição	80.00 m ²			
»---» Vãos C/contacto n/úteis Totais ---»»»			4.00 m ² e	5.04 W/°C
(o)---» Janela J1	4.00 m ²	2.1 W/m ² °C	0.60	5.04 W/°C
»---» Pontes Tau > 0.7 Paredes C// n/úteis Totais ---»»»			10.00 m ² e	3.00 W/°C
(o)---» Sotão do tipo 1	10.00 m ²	0.5 W/m ² °C	0.6	3.00 W/°C

Vãos Envidraçados Exteriores Totais ---»»» 20.00 m² e 42.00 W/°C

Vão Envidraças exteriores [FC IV.1b]
[PERDAS]

	Área [m ²]	U [W/m ² °C]	U.A [W/°C]
Envidraçados Verticais Total---»»» 20.00 m ² e 42.00 W/°C			
(o)---» N	2.00 m ²	2.1 W/m ² °C	4.20 m ²
(o)---» S	10.00 m ²	2.1 W/m ² °C	21.00 m ²
(o)---» E	4.00 m ²	2.1 W/m ² °C	8.40 m ²
(o)---» W	4.00 m ²	2.1 W/m ² °C	8.40 m ²
Envidraçados Horizontais Totais ---»»» 0.00 m ² e 0.00 W/°C			
(o)---»	0.00 m ²	W/m ² °C	0.00 m ²

Logo do Utilizador

[156x95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 06

As seguintes páginas, com os respectivos resultados, apenas dizem respeito ao concelho de Manteigas.

FRACÇÃO -----» 1.º Dto											
FOLHA DE CALCULO FC IV.1e											
Ganhos Solares											

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m2)	5.36 m2										
Radiação Incidente num envidraçado a sul (G S u l)											
[Zona] (kWh / m2.mês - do quadro 8 (Anexo III))----- >	90.00 GSul (kWh/m2 . mês)										
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	8.00 meses										
Ganhos Solares Brutos (kWh / ano)	3857.01 kWh / ano										
Ganhos Internos											

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)-	4.00W/m2										
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	8.00 meses										
Área Útil de Pavimento -	100.00 m2										
Ganhos Internos Líquidos (W .meses/ano) -	3200.00 W .meses										
[x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]											
Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)-	2304.00 kWh / ano										
Ganhos Totais Úteis											

GAMA = (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) / Necessidades Brutas de Aquecimento											
Gama = 0.26 -----> ETA = 1.00											
Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ---> (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) * ETA											
GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---> 6145.69 kWh / ano											
<table border="1"> <tr> <td rowspan="4">Logo do Utilizador [256 x 96]</td> <td>Nome do Utilizador</td> <td>Tlf : +000 000 000 000</td> <td rowspan="4">Nº 07</td> </tr> <tr> <td>Morada do Utilizador</td> <td>Fax : +000 000 000 000</td> </tr> <tr> <td>Código-Postal e Localidade</td> <td>E-mail : Email@mail.pt</td> </tr> <tr> <td></td> <td>www.site.pt</td> </tr> </table>		Logo do Utilizador [256 x 96]	Nome do Utilizador	Tlf : +000 000 000 000	Nº 07	Morada do Utilizador	Fax : +000 000 000 000	Código-Postal e Localidade	E-mail : Email@mail.pt		www.site.pt
Logo do Utilizador [256 x 96]	Nome do Utilizador		Tlf : +000 000 000 000	Nº 07							
	Morada do Utilizador		Fax : +000 000 000 000								
	Código-Postal e Localidade		E-mail : Email@mail.pt								
		www.site.pt									

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC IV.2

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

Perdas térmicas associadas : W / °C

Envolvente Exterior (FC IV1.a)	145.16
Envolvente Interior (FC IV1.b)	53.48
Vãos Envidaçados (FC IV1.c)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Coefficiente Global de Perdas (W / °C) 332.44

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----> 3000.00

24h / 1000 x 0.024 kh =
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 23935.68

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 6145.69 kWh/ano

Necessidades de Aquecimento : 17789.99

/ Área Útil de pavimento = 100.00 m2

NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m2 .ano) 177.90

NI (Necessidades Máximas (kWh / m2 .ano) 66.40

N Ã O V E R I F I C A

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 08

FRACÇÃO -----> 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC V.1a

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas :	W /°C
Paredes Exteriores (FC IV1.a)	28.80
Pavimentos Exteriores (FC IV1.a)	6.80
Coberturas Exteriores (FC IV1.b= FC IV1.a)	7.14
Envidracados Exteriores (FC V1.b)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 176.54 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 19.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 6.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 1059.24 W

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30)= 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =

Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 3101.45 kWh/ano

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 09

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FCV.1c

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	4.03 W/°C x 200.00 kWh/m2 =	806.40
Norte-Este [NE] ----->	0.00 W/°C x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	2.30 W/°C x 420.00 kWh/m2 =	967.68
Sul-Este [SE] ----->	0.00 W/°C x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	2.88 W/°C x 380.00 kWh/m2 =	1094.40
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 W/°C x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	2.30 W/°C x 420.00 kWh/m2 =	967.68
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 W/°C x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	2.73 W/°C x 730.00 kWh/m2 =	1991.44

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 5827.60 kWh /m2 /°C * W

Relação de potencial solar (x) 40 °C .m2 / W = 0.04 x = 233.10 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.c ----- > 233.10 kWh

Logo do Utilizador

[150 x 90]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 10

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC V.1d

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.20 m2 x 200.00 kWh/m2 =	40.00
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	0.87 m2 x 420.00 kWh/m2 =	365.40
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	3.42 m2 x 380.00 kWh/m2 =	1299.60
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 430.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	0.87 m2 x 420.00 kWh/m2 =	365.40
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 300.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 730.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 2069.67 kWh

(Envidraçados)

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.d ----- > 2069.67 kWh

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 11

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC V.1e

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 4.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 100.00 m2

Ganhos Internos Brutos
[400.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 1171.20 kWh

FOLHA DE CALCULO FC V.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

2069.67 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
233.10 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
1171.20 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 3473.97 kWh
Total FC V1.f

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 12

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FCV.1g

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

3473.97 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

3101.45 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

$GAMA = (\text{Ganhos}) / (\text{Perdas}) = a / b = 1.12$

Inercia Tipo (Forte) -----> ETA = 0.76

ETA --> Factor de ganhos solares ---> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 3473.97 x 0.24 (kWh)

Necessidades brutas de arrefecimento = 836.04 k W h

Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h

TOTAL = 836.04 k W h

100.00 m2 ---> Área util da fracção
8.36 Nvc ---> kWh / m2
16.00 NV ---> kWh / m2

VERIFICA

Logo do Utilizador

[156 x 95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 13

As seguintes páginas, com os respectivos resultados, apenas dizem respeito ao concelho de Vila Real de Santo António.

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC IV.1e

Ganhos Solares

Área efectiva Total equivalente na orientação sul (m²) 5.36 m²
 Radiação Incidente num envidraçado a sul (G S u l)
 [Zona]
 (kWh / m².mês - do quadro 8 (Anexo III))----- > 108.00 GSul (kWh/m² . mês)
 Duração da Estação de Aquecimento (meses) 4.30 meses
 Ganhos Solares Brutos (kWh / ano) 2487.77 kWh / ano

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m²)- 4.00W/m²
 Duração da Estação de Aquecimento (meses) 4.30 meses
 Área Útil de Pavimento - 100.00 m²
 Ganhos Internos Líquidos (W .meses/ano) - 1720.00 W .meses
 [x 0.72 = 30 * 24 kh/ mês]
 Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)- 1238.40 kWh / ano

Ganhos Totais Úteis

GAMA = (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) / Necessidades Brutas de Aquecimento
 Gama = 0.44 -----> ETA = 0.98

Ganhos Totais úteis (kWh / ano) ---> (Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos) * ETA

GANHOS TOTAIS ÚTEIS (kWh / ano) ---> 3658.55 kWh / ano

Logo do Utilizador

[256x96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 07

FRACÇÃO -----> 1º Dto

FOLHA DE CALCULO FC IV.2

Calculo do indicador [Nic]

Necessidades nominais de energia de aquecimento

Perdas térmicas associadas :	W / °C
Envolvente Exterior (FC IV1.a)	145.16
Envolvente Interior (FC IV1.b)	53.48
Vãos Envidaçados (FC IV1.c)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80
Coefficiente Global de Perdas (W / °C)	332.44

Graus-Dia no Local (°C.Dia) -----> 1060.00

24h / 1000 x 0.024 kh =
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh / ano) 8457.27

Ganhos Totais Úteis (kWh / ano) : 3658.55 kWh/ano
Necessidades de Aquecimento : 4798.72
/ Área Útil de pavimento = 100.00 m2

NIC (Necessidades Nominais Aquecimento (kWh / m2 .ano) 47.99

NI (Necessidades Máximas (kWh / m2 .ano) 66.40

VERIFICA

Logo do Utilizador [256x96]	Nome do Utilizador	Tlf : +000 000 000 000	Nº 08
	Morada do Utilizador	Fax : +000 000 000 000	
	Codigo-Postal e Localidade	E-mail : Email@mail.pt	
		www.site.pt	

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC V.1a

(Perdas)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Perdas térmicas associadas :	W /°C
Paredes Exteriores (FC IV1.a)	28.80
Pavimentos Exteriores (FC IV1.a)	6.80
Coberturas Exteriores (FC IV1.b= FC IV1.a)	7.14
Envidracados Exteriores (FC V1.b)	42.00
Renovação do AR (FC IV1.d)	91.80

Perdas específicas totais (W/°C) ----- > 176.54 W / °C

Temperatura interior de referência (°C) ----- > 25°C

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento -----> 23.00°C

Diferença de temperaturas (Int - Ext) -----> 2.00°C

Perdas específicas totais * Temperatura Média (Delta T , a 25°C) 353.08 W

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30)= 122 * 24 Horas (Kh/ano) x 2.928 =

Perdas Térmicas Totais (kWh / ano) : 1033.82 kWh/ano

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 09

FRACÇÃO -----> 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC V.1c

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos solares pela envolvente opaca

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	4.03 W/°C x 210.00 kWh/m2 =	846.72
Norte-Este [NE] ----->	0.00 W/°C x 330.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	2.30 W/°C x 460.00 kWh/m2 =	1059.84
Sul-Este [SE] ----->	0.00 W/°C x 460.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	2.88 W/°C x 400.00 kWh/m2 =	1152.00
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 W/°C x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	2.30 W/°C x 460.00 kWh/m2 =	1059.84
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 W/°C x 330.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	2.73 W/°C x 820.00 kWh/m2 =	2236.96

Ganhos potenciados solares pela envolvente opaca = 6355.36 kWh /m2 /°C * W

Relação de potencial solar (x) 40 °C .m2 / W = 0.04 x = 254.21 kWh

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.c -----> 254.21 kWh

Logo do Utilizador

[256 x 96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tel : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 10

FRACÇÃO -----> 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FC V.1d

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Envidraçados

[DIRECÇÕES]

Norte [N] ----->	0.20 m2 x 210.00 kWh/m2 =	42.00
Norte-Este [NE] ----->	0.00 m2 x 330.00 kWh/m2 =	0.00
Este [E] ----->	0.87 m2 x 460.00 kWh/m2 =	400.20
Sul-Este [SE] ----->	0.00 m2 x 460.00 kWh/m2 =	0.00
Sul [S] ----->	3.42 m2 x 400.00 kWh/m2 =	1368.00
Sul-Oeste [SW] ----->	0.00 m2 x 470.00 kWh/m2 =	0.00
Oeste [W] ----->	0.87 m2 x 460.00 kWh/m2 =	400.20
Norte-Oeste [NW] ----->	0.00 m2 x 330.00 kWh/m2 =	0.00
Horizontal [H] ----->	0.00 m2 x 820.00 kWh/m2 =	0.00

Ganhos Totais Envidraçados = 2209.59 kWh

(Envidraçados)

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.d ----- > 2209.59 kWh

Logo do Utilizador

[150 x 90]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 11

FRACÇÃO -----» 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FCV.1e

(Ganhos)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento

Ganhos térmicas associadas : Ganhos Internos da fracção

Junho Julho Agosto Setembro
(30 + 31 + 31 + 30) = 122 * 24 Horas (Kh/ano) 2.928 x

Ganhos Internos médios (quadro IV.2) (W/m2)- 4.00W/m2

Área Útil de Pavimento - 100.00 m2

Ganhos Internos Brutos
[400.00 W x 2.928 kh/ano]

GANHOS TOTAL QUADRO FC V1.e ----- > 1171.20 kWh

FOLHA DE CALCULO FCV.1f

(Ganhos Totais)

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão) (Junho a Setembro)

2209.59 kWh ---> Ganhos solares pelos vãos envidraçados
254.21 kWh ---> Ganhos solares pela envolvente opaca
1171.20 kWh ---> Ganhos internos

Q FCV1.d + Q FCV1.c + Q FCV1.e = 3635.00 kWh
Total FC V1.f

Logo do Utilizador

[255x95]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Código-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 12

FRACÇÃO -----> 1.º Dto

FOLHA DE CALCULO FCV.1g

(Nvc - Cálculo)

Necessidades nominais de energia de Arrefecimento (Nvc)

3635.00 kWh Ganhos térmicas Totais (Verão) (a)

1033.82 kWh Perdas térmicas Totais (Verão) (b)

GAMA = (Ganhos) / (Perdas) = a / b = 3.52

Inercia Tipo (Forte) -----> ETA = 0.40

ETA --> Factor de ganhos solares ---> Ganhos reais = G.Solares x (1 - ETA)

Ganhos Termicos Totais (quadro V.1F) * (1 - ETA) = 3635.00 x 0.60 (kWh)

Necessidades brutas de arrefecimento = 2181.00 k W h

Consumo dos ventiladores (não há) = 0.00 k W h

TOTAL = 2181.00 k W h

100.00 m2 ---> Área util da fracção

21.81 Nvc ---> kWh / m2

32.00 NV ---> kWh / m2

VERIFICA

Logo do Utilizador

[256x96]

Nome do Utilizador

Morada do Utilizador

Codigo-Postal e Localidade

Tlf : +000 000 000 000

Fax : +000 000 000 000

E-mail : Email@mail.pt

www.site.pt

Nº 13